

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**“ESTUDIO GEOLÓGICO, MINERALÓGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO
IMANNIYOQ, DISTRITO DE CCAPACMARCA - CUSCO”**

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTADO POR:

Bach. PEÑA CHAVEZ, EVELYNG

ASESOR:

Mg. ZEGARRA CARREON, MAURO ALBERTO

CUSCO - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A DIOS, por guiarme y permitir seguir adelante.

A mi FAMILIA quienes, a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo incondicional en todo momento quienes han depositado su entera confianza sin dudar ni un solo momento.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, al personal docente, quienes me motivaron e impartieron conocimientos para mi formación profesional.

A mi asesor, por confiar en mi capacidad de investigación y orientarme a desarrollar este estudio.

También agradezco a todos mis compañeros y amigos quienes de una u otra forma fueron partícipes durante la elaboración de la tesis.

Evelyn Peña Chávez

RESUMEN

El Yacimiento Imanniyoq está localizado políticamente en el departamento de Cusco, provincia de Chumbivilcas, distrito de Ccapacmarca, comunidad de Cruz Pampa; a 90 km al noroeste del proyecto constancia y a 60 Km al este del proyecto Las bambas.

Estructuralmente se encuentra ubicado dentro de la unidad morfoestructural de la Cordillera Occidental, en el extremo NE del batolito Andahuaylas – Yauri que hospeda yacimientos metalogenéticamente ubicado en la franja XV perteneciente a Pórfidos – Skarn de Cu–Mo (Au, Zn) y depósitos e Cu–Au–Fe relacionados con intrusivos del Eoceno medio – Oligoceno temprano (~ 30 – 42 Ma).

La mineralización de la zona de estudio está relacionada con los eventos producidos por los intrusivos dioríticos y monzodioríticos del batolito Andahuaylas – Yauri del Eoceno – Oligoceno, emplazados en condiciones transpresionales y controlados, por los sistemas de fallas regionales Cusco - Lagunillas – Mañazo (SFCLM), Condoroma – Caylloma (SFCC) e influenciado por el dominio geotectónico Abancay – Condoroma (DGCC), los cuales presentan un rumbo andino NW – SE; localmente se presenta 2 sistemas principales de fallas con orientaciones NW –SE (falla Sotomachay) y NE – SW (falla San francisco); la falla Sotomachay posiblemente se comportó como falla normal durante la sedimentación Mesozoica y tuvo un comportamiento inverso entre el Eoceno y Oligoceno (orogenia incaica), mientras que la falla San Francisco posiblemente se formó en el Paleoceno y controló el emplazamiento de los intrusivos durante el Eoceno y Oligoceno.

La zona de estudio presenta importantes afloramientos de intrusivos plutónicos como la dioríta, monzodioríta y cuarzomonzodioríta, rocas sedimentarias como la caliza de la formación Arcurquina también se pudo identificar el mármol

producto del metasomatismo de contacto y finalmente se divisa imponentes afloramientos de magnetita; mayormente están cubiertos por material cuaternario.

La interacción de estas unidades litológicas permitió tener una perspectiva de la posible existencia de un skarn, generado por el metasomatismo de contacto entre un intrusivo y una roca carbonatada; los intrusivos que tienen principal importancia son la diorita y la monzodiorita a la que le atribuimos la mineralización de hierro; estos emplazamientos muestran varios sistemas de fallas, que proporcionaron el camino de intrusiones que interaccionaron con las formaciones calcáreas; esto fue contrastado con ayuda de estudios geológicos preliminares tanto en campo como en gabinete; aseverando que está desarrollándose en ambiente metasomático tipo skarn, donde se logró interpretar las zonas de exoskarn, endoskarn y las principales alteraciones calcosilicatadas; llegando a la conclusión de que la ocurrencia de magnetita esta relaciona al skarn de Fe.

INDICE

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:	2
1.6. JUSTIFICACIÓN	3
1.7. VARIABLES:	4
1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO:	4
1.9. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
1.9.2. BASES TEÓRICAS.....	7
1.9.2.1. MARCO REFERENCIAL:.....	7
1.9.2.2. MARCO CONCEPTUAL:	8
1.10. UBICACIÓN	20
1.11. ACCESIBILIDAD:	24
1.12. CLIMA	26
1.13. FLORA Y FAUNA	26
1.14. HIDROLOGÍA LOCAL:.....	29
CAPÍTULO II: GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	30
2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	30
2.1.1. CORDILLERA OCCIDENTAL	30
2.1.1.1. ALTIPLANICIES:.....	31
2.1.1.1.1. ALTIPLANICIES ALLANADAS:	31
2.1.1.1.2. ALTIPLANICIES DISECTADAS:	31
2.1.1.1.3. ALTIPLANICIES ONDULADAS:	31
2.1.1.1.4. FONDOS DE VALLE ALUVIAL – MONTAÑOSO:	32
2.1.1.1.5. FONDOS DE VALLE GLACIAR – ALUVIAL:.....	32
2.1.1.1.6. LLANURA DE VALLE ALUVIAL:	32
2.1.1.2. VALLES	32
2.1.1.2.1. VALLES DEL RIO SANTO TOMAS:	33

2.1.1.2.2.	VALLE DEL RIO VELILLE.....	33
2.1.1.3.	MONTAÑAS	34
2.1.1.3.1.	VERTIENTES DE MONTAÑA ALLANADA	34
2.1.1.3.2.	VERTIENTES DE MONTAÑA EMPINADA	34
2.2.	GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	37
2.2.1.	COLINAS (C)	37
2.2.1.1.	COLINAS BAJAS FUERTEMENTE INCLINADAS	37
2.2.1.2.	COLINAS BAJAS LIGERAMENTE INCLINADAS	38
2.2.1.2.1.	CERRO CHUÑUNA	38
2.2.1.3.	COLINAS BAJAS MODERADAMENTE EMPINADAS	38
2.2.1.3.1.	CERRO PALLALLAQ'E.....	39
2.2.1.3.2.	CERRO IMANNIYOQ.....	39
2.2.1.3.3.	CERRO SILCAHUAMANI:	39
2.2.1.4.	COLINAS BAJAS MODERADAMENTE INCLINADAS	39
2.2.1.5.	LOMADAS ALLANADAS	40
2.2.1.6.	LOMADAS LIGERAMENTE INCLINADAS.....	40
2.2.2.	COLINAS ALTAS:	40
2.2.3.	ALTIPLANICIES (P).....	41
2.2.3.1.	TERRAZAS.....	41
2.2.3.1.1.	TERRAZAS ALTAS FUERTEMENTE INCLINADAS	41
2.2.3.1.2.	TERRAZAS ALTAS MODERADAMENTE INCLINADAS.....	42
2.2.3.1.3.	TERRAZAS MEDIAS INCLINADAS	42
2.2.3.1.4.	TERRAZAS BAJAS MODERADAMENTE INCLINADAS.....	42
2.2.4.	VALLES	43
2.2.4.1.	LLANURA ALUVIAL.....	43
2.2.4.2.	QUEBRADAS	43

CAPÍTULO III; GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	47
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL:.....	47
3.1.1. ESTRATIGRAFIA REGIONAL:	48
3.1.1.1. GRUPO YURA.....	48
3.1.1.2. FORMACION MURCO (Ki-mu)	49
3.1.1.3. FORMACION HUALLHUANI (Ki-hu)	49
3.1.1.4. FORMACION ARCURQUINA:.....	50
3.1.1.5. GRUPO TACAZA.....	50
3.1.1.6. GRUPO PUNO (P- pu).....	51
3.1.1.7. FORMACION ANTA (Eoceno-Oligoceno)	51
3.1.2. ROCAS INTRUSIVAS:.....	52
3.1.2.1. BATOLITO ANDAHUAYLAS – YAURI	52
3.1.2.1.1. PLUTON COLQUEMARCA (PN-co-co/to).....	53
3.1.2.1.2. PLUTON PISUROPATA (PN-co-pi/to)	53
3.1.2.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS:	53
3.1.2.2.1. DEPOSITOS ALUVIALES.....	54
3.2. GEOLOGIA LOCAL:	56
3.2.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL:	56
3.2.1.1. ROCAS SEDIMENTARIAS:	58
3.2.1.1.1. FORMACION ARCURQUINA (Clz).....	58
3.2.1.2. ROCAS INTRUSIVAS:.....	58
3.2.1.2.1. DIORITA (Dt):	59
3.2.1.2.2. MONZODIORITA (Mzd):	61
3.2.1.2.3. CUARZOMONZODIORITA (Q-Mzd):	62
3.2.1.3. CUATERNARIO:.....	63
3.2.1.3.1. ALUVIALES (Q- Al):	63
3.2.1.3.2. FLUVIALES (Q-FL):	63

CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL Y LOCAL	65
4.1. MARCO TECTONICO REGIONAL	65
4.1.1. DOMINIO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL.....	70
4.1.3. FORMACIÓN DE LOS ANDES.....	72
4.1.4. EVENTOS TECTONICOS.....	73
4.1.5. PLEGAMIENTOS:.....	74
4.1.6. CORREDOR ESTRUCTURAL:	75
4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	77
4.2.3. FALLAS LOCALES:.....	77
4.2.3.1. FALLA SAN FRANCISCO:.....	78
4.2.3.2. FALLA SOTOMACHAY:.....	78
4.2.3.3. FALLA MACHAY.....	79
4.2.3.4. FALLA P´UCCO.....	79
CAPÍTULO V: EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA.....	81
5.1. GENERALIDADES:.....	81
5.2. MUESTREO	81
5.3. PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA EN EL YACIMIENTO IMANNIYOQ	83
5.3.1. MÉTODO DE MUESTREO	83
5.3.1.1. MUESTREO SELECTIVO.....	85
5.3.1.1.1. MUESTREO POR CANAL	85
5.3.1.1.2. MUESTREO EN CHIP (PUNTOS)	86
5.3.1.2. MUESTREO SISTEMATICO.....	87
5.3.1.2.1. PUNTOS DE GRILLA	87
5.3.1.2.2. MUESTREO POR TRINCHERAS	88
5.3.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS, ANÁLISIS Y SEGURIDAD	91
5.3.2.1. MÉTODO DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS	91
5.3.2.2. CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)	93

5.3.2.2.1.	MUESTRAS DUPLICADAS	93
5.3.2.2.2.	MUESTRAS BLANCAS	94
5.4.	INTERPRETACION GEOQUIMICA	94
5.4.1.	DISTRIBUCION GEOQUIMICA	94
5.4.2.	INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA DE LOS RESULTADOS.....	95
5.4.2.1.	INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA PARA EL HIERRO (Fe)	95
5.4.2.2.	INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA EL ORO (Au)	96
5.4.2.3.	INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA LA PLATA (Ag).....	97
5.4.2.4.	INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA EL COBRE (Cu)	98
CAPÍTULO VI: MINERALIZACION Y ALTERACIONES		99
6.1.	MINERALIZACIÓN.....	99
6.1.1.	CUERPOS MASIVOS DE MAGNETITA.....	100
6.1.2.	BRECHAS DE MAGNETITA.....	102
6.1.3.	TEXTURAS.....	102
6.1.3.1.	TEXTURA MASIVA.....	102
6.1.3.2.	TEXTURA BRECHOIDE	103
6.1.3.3.	TEXTURA BANDEADA.....	104
6.1.3.4.	TEXTURA OQUEROSA.....	104
6.2.	CONTROLES DE MINERALIZACIÓN:.....	105
6.2.1.	CONTROL ESTRUCTURAL:	105
6.2.2.	CONTROL LITOLÓGICO:.....	105
6.3.	ALTERACIONES:	106
6.3.1.	ALTERACIÓN PROGRADA.....	106
6.3.1.1.	ENDOSKARN	108
6.3.1.2.	EXOSKARN.....	109
6.3.1.2.1.	ZONA INTERNA	110
6.3.1.2.2.	ZONA INTERMEDIA.....	110

6.3.1.2.3. ZONA EXTERNA	112
6.3.1.2.4. MARMOL	112
6.3.2. ALTERACIÓN RETROGRADA	112
6.3.2.1. PROCESO RETROGRADO.....	113
6.4. ANÁLISIS MINERALÓGICO DEL SKARN DE MAGNETITA IMANNIYOQ	113
6.4.1. DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA	114
6.4.2. DESCRIPCIONES MICROSCOPICAS	118
CAPÍTULO VII.....	134
7. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN	134
7.1. INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DEL MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO.....	134
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	140
ANEXOS.....	145

RELACIÓN DE FIGURAS

Fig. Nº 1: Skarnoide resulta del metamorfismo de litologías impuras con una cierta transferencia de masa por el movimiento fluido de pequeña escala. El skarn metasomático controlado por fluido típicamente es de grano más grueso y no refleja de manera tan estrecha la composición o textura de las rocas inmediatamente circundantes.....	15
Fig. Nº 2: La zonación de la mayoría de los skarns refleja la geometría del contacto del plutón y el flujo del fluido. Tales skarns se zonifican desde el endoskarn proximal hasta el exoskarn proximal, dominado por el granate. El skarn más distal suele ser más rico en piroxeno y el frente del skarn, especialmente en contacto con el mármol, puede estar dominado por piroxenoides o vesuvianita (grupo epidot mineral).....	15
Fig. Nº 3: Proceso de evolución de un skarn.....	16
Fig. Nº 4: Ubicación de la zona de estudio a distintas escalas. INEI	20
Fig. Nº 5: Elaboración propia a partir de la clasificación de altitudes Javier Vidal Pulgar	22
Fig. Nº 6: Geología y yacimientos principales de la franja de pórfidos y skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno del Batolito Andahuaylas -Yauri. También se observa depósitos estratoligados de Cu de las Capas Rojas. Carlotto (1998), Perello et al (2003).....	48
Fig. Nº 7: columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomas 29r. INGEMMET	57
Fig. Nº 8: Dominios geotectónicos diferenciándose el bloque Andahuaylas – Yauri conformante cordillera de los andes	66
Fig. Nº 9: Mapa metalogenético del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFIII: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: Sistema de Fallas Cincha-LLuta. SFI: Sistema de Fallas Icapuquio. SFCC: Sistema de Fallas Caylloma-Condoroma. SFCLM: Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. SFUSA: Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. DGNO: Dominio Geotectónico Nazca-Ocoña, DGCLLI: Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo, DGPCI: Dominio Geotectónico Puquio-Caylloma-Incapuquio, DGAC: Dominio Geotectónico Abancay-Condoroma, DGCLM: Dominio Geotectónico Cusco-Lagunillas-Mañazo y DGUSA: Dominio Geotectónico Urcos-Sicuani-Ayaviri.	68

Fig. N° 10: Franja metalogenetica de pórfidos de Skarn de Cu – (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno – Oligoceno 42 – 30 Ma; diferenciación de fallas importantes. Carlotto et al (2009).	69
Fig. N° 11: Sistema de fallas Cusco- Lagunillas mañaso.....	69
Fig. N° 12: Ilustración esquemática de la zona de estudio dentro del dominio morfoestructural perteneciente a la cordillera occidental. Propia (2016).....	70
Fig. N° 13: Deflexión de Abancay. Carlotto et al (2005).....	75
Fig. N° 14: Zonación típica de skarns de acuerdo al avance del fluido. (Meinert, 2005).....	108

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla N° 1: Ruta de accesibilidad al área de estudio.....	24
Tabla N° 2: Campañas de exploración geoquímica en el yacimiento Imanniyoc.....	84
Tabla N° 3: Tipos y métodos de muestreo geoquímico en el yacimiento Imanniyoc.....	84
Tabla N° 4: Parámetros de muestreo y resultados geoquímicos promedios por trincheras.....	89
Tabla N° 5: Datos generales de la muestra analizada por el ensayo multi-elemental.....	90
Tabla N° 6: Resultados de análisis para Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca y Cd.....	90
Tabla N° 7: Resultados de análisis para Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li y Mg.....	90
Tabla N° 8: Resultados de análisis para Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se y Sn.....	90
Tabla N° 9: Resultados de análisis para Sr, Te, Ti, Tl, V y Zn.....	91
Tabla N° 10: Resultados de Fe total por trincheras.....	95
Tabla N° 11: Resultados de Oro (Au) por trincheras.....	96
Tabla N° 12: Resultados de Plata (Ag) por trincheras.....	97
Tabla N° 13: Resultados de Ag por trincheras.....	97
Tabla N° 14: Resultados de Cu por trincheras.....	98

RELACIÓN DE FOTOS

Foto Nº 1: Vista panorámica de la zona de estudio del yacimiento.....	21
Foto Nº 2: Ubicación específica de la zona de estudio.....	21
Foto Nº 3: Planta representativa de la flora en la zona de estudio "q'ayara".....	27
Foto Nº 4: Planta representativa de la zona "Ichu".	27
Foto Nº 5: Cóndor andino.....	28
Foto Nº 6: Presencia del río San Francisco en la zona de estudio.....	29
Foto Nº 7: Río Velille.....	33
Foto Nº 8: zona de estudio, delimitado con la litología.....	56
Foto Nº 9: Afloramientos de calizas.....	58
Foto Nº 10: diorita con biotita, anfíbol (como minerales máficos), plagioclasa y algo de cuarzo intersticial (como minerales félsicos). En la fotografía con NC (izquierda) podemos observar los altos colores de birrefringencia del clinopiroxeno, el maclado polisintético de la plagioclasa y los pequeños cristales de cuarzo intersticial. En el extremo derecho (NP) la biotita aparece con un color marrón oscuro con inclusiones de pequeños cristales de apatito, el anfíbol, más escaso, presenta color verde y está en el borde inferior del clinopiroxeno, que destaca por su mayor relieve.	60
Foto Nº 11: Monzodiorita de hornblenda (Hn) - banda de endoskarn de diopsida (Di). NC (izquierda) Granos subhedrales a anhedral de diopsida intercrecidos, NP (derecha) Granos subhedrales a anhedral de diopsida intercrecidos.....	61
Foto Nº 12: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda. NC (Izquierda). Hornblenda (Hn) fuertemente alterada a clorita y plagioclasa (Pg) tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla y ortoclasa (Or) anhedral e intersticial. NP (Derecha). Hornblenda fuertemente alterada a clorita (verde) y plagioclasa tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla (rosado) y ortoclasa anhedral, fresca e intersticial. Epidota (Ep) verde amarillento en alto relieve.....	62
Foto Nº 13: Vista de falla San Francisco con orientación NE – SW.....	78
Foto Nº 14: Vista de falla Sotomachay con orientación NW – SE.....	79

Foto N° 15: Ubicación fallas en zona de estudio.....	79
Foto N° 16: Muestreo por canal	86
Foto N° 17: Recolección de muestras por el método de puntos “chips”	87
Foto N° 18: Recolección de muestras por el método de trincheras.....	88
Foto N° 19: Muestreo por trinchera.....	89
Foto N° 20: Muestras en sus respectivas bolsas.....	91
Foto N° 21: Etiquetado de muestras.....	92
Foto N° 22: Recolección de muestras.....	93
Foto N°23: Zona de estudio que evidencia la mineralización.....	100
Foto N°24: Afloramientos masivos de magnetita, ubicados en el cerro Imanniyog.....	101
Foto N°25: Afloramientos masivos de magnetita, ubicados en el cerro san Francisco.....	101
Foto N°26: Magnetita en contacto con el intrusivo monzodiorítico.	102
Foto N°27: Cuerpos masivos de magnetita con textura masiva.....	103
Foto N°28: Magnetita con textura brechoide.....	103
Foto N°29: Magnetita en contacto con el intrusivo monzodiorítico.....	104
Foto N°30: Magnetita con textura brechoide.....	104
Foto N° 31: contacto entre intrusivo diorítico (izquierda) y caliza de la formación arcuquina (derecha). En la diorita se observa que los minerales ferro magnesianos se están alterando a epidota; la caliza presenta venillas de granate marrón.....	107
Foto N° 32: intrusivo en forma con venillas de granate y magnetita.....	109
Foto N° 33: imagen muestra granates marrones y piróxenos.....	111
Foto N° 34: Intrusivo diorítico.....	114
Foto N° 35: Skarn de granate.....	115
Foto N° 36: Presencia de granates.....	115

Foto N° 37: Skarn granular.....	116
Foto N° 38: Endoskarn.....	116
Foto N° 39: magnetita.....	117
Foto N° 40-A: Cuarzo Monzodiorita de Horblenda (NC). Listones de plagioclasa (Pg) entrelazados con espacios ocupados por Horblenda (Hn) y Cuarzo (Qz).....	118
Foto N° 40-B: Cuarzo Monzodiorita de Horblenda (NP). Listones de plagioclasa (Pg) entrelazados con espacios ocupados por Horblenda (Hn) y Cuarzo (Qz).....	118
Foto N° 40-C: Banda de endoskarn (NC). Granate (Gr) mayor que diópsida (Dip) asociado con epidota y calcita. Dentro de la Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (Hn).....	119
Foto N° 40-D: Banda de endoskarn (NP). Granate (Gr) mayor que diópsida (Dip) asociado con epidota y calcita. Dentro de la Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (Hn).....	119
Foto N° 41-A: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NC). Hornblenda (Hn) fuertemente alterada a clorita y plagioclasa (Pg) tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla y ortoclasa (Or) anhedral e intersticial.....	120
Foto N° 42-B: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NP). Hornblenda fuertemente alterada a clorita (verde) y plagioclasa tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla (rosado) y ortoclasa anhedral, fresca e intersticial. Epidota (Ep) verde amarillento en alto relieve.....	120
Foto N° 43-C: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NC). Granos de cuarzo anhedrales entrelazados en la parte central de la fotografía.....	121
Foto N° 44-A: Mármol con tremolita (NP). Cristales anhedrales y entrelazados de calcita (Ca). Cristal de tremolita (Tr) prismático en el centro de la fotografía.....	122
Foto N° 44-B: Mármol con tremolita (NC). Cristales anhedrales y entrelazados de calcita (Ca). Cristal de tremolita (Tr) prismático en el centro de la fotografía.....	122
Foto N° 45-A: Banda de endoskarn de diopsida (Di) (NC). Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos. Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).	123
Foto N° 45-B: Banda de endoskarn de diopsida (Di) (NP). Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos. Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).	123
Foto N° 46-A: Calcita (Ca) incluyendo granate y diopsida (Di) (NC). Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).	124

Foto N° 46-B: Calcita (Ca) incluyendo granate y diopsida (Di) (NP). Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).....	124
Foto N° 47-A: Calcopirita (Cp) sustituida principalmente en los bordes por calcosina (Cc) (NP).....	125
Foto N° 47-B: Hematita (Hm) reemplazando parcialmente a la pirita (Py) (NC).....	125
Foto N° 47-C: Hematita (Hm) reemplazando a la pirita (Py) (NP).....	126
Foto N° 47-D: Hematita (Hm) – limonita reemplazando a la pirita (Py) (NC).....	126
Foto N° 48: Magnetita (Mt) gris parduzca y hematita (Hm) blanca en un proceso de martitización (NP).....	127

RELACIÓN DE PLANOS

CAPITULO I

PLANO 01: UBICACIÓN	23
PLANO 02: ACCESIBILIDAD.....	25

CAPITULO II

PLANO 01: MORFO ESTRUCTURAL.....	35
PLANO 02: GEOMORFOLÓGICO REGIONAL.....	36
PLANO 03: FISIOGRAFICO LOCAL.....	44
PLANO 04: PENDIENTES LOCAL.....	45
PLANO 05: GEOMORFOLÓGICO LOCAL.....	46

CAPITULO III

PLANO 01: Geológico Regional	55
PLANO 02: Geológico Local	64

CAPITULO IV

PLANO 01: Estructural Regional.....	76
PLANO 02: Estructural Local.....	80

CAPITULO VI

PLANO 01: MAPA METALOGENETICO	128
PLANO 02: MAPA METALOGENETICO DEL HIERRO (Fe).....	129
PLANO 03: UBICACIÓN DE MUESTRAS.....	130
PLANO 04: DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS (1).....	131
PLANO 05: DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS (2).....	132
PLANO 06: DESCRIPCION DE SECCIONES DELGADAS.....	133

CAPITULO VII

PLANO 01: MODELO GEOLOGICO PRELIMINAR DEL YACIMIENTO IMANNIYOQ, DISTRITO DE CCAPACMARCA – CUSCO.....	136
---	-----

ANEXOS

Anexo I: Abreviaturas.....	146
Anexo II: Resultados de análisis geoquímico.....	149

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis estudia la geología, mineralogía, el tipo y modo de ocurrencia del yacimiento Imanniyoq; para lograr este fin se ha caracterizado la zona de estudio mineralógica y petrográficamente para ello se realizó algunos análisis de laboratorio en las diferentes litologías diferenciadas en la zona.

En el sector minero, con el avance de los conocimientos de la exploración se está logrando llevar a cabo las actividades de desarrollo y exploración de manera cada vez más eficiente con equipos de gran capacidad haciendo de las actividades cada vez más seguras y eficientes.

En la actualidad los estudios de exploración se realizan con más frecuencia de ahí la importancia de realizar este estudio, por lo que será de mucha importancia entender cuáles fueron las características geológicas, factores mineralógicos en el yacimiento de magnetita que actuaron para dar origen a este yacimiento.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La zona de estudio Imanniyoq se encuentra en la franja metalogenética de los yacimientos tipo pórfido Skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados al Eoceno – Oligoceno. Sin embargo, los estudios geológicos y mineralógicos que enfatice el hierro son reducidos; la demanda de este metal se ha incrementado en los últimos años, por lo que la ocurrencia de magnetita y minerales asociados generan en esta zona incremento e interés desde la perspectiva de la explotación minera, para la prosecución se requiere definir el ambiente geológico de su ocurrencia en la zona de Imanniyoq como la asociación mineralógica y correlación con otras ocurrencias de magnetita en esta franja.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL:

¿Cuáles son las características geológicas y mineralógicas, en la ocurrencia del yacimiento Imanniyoq?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS:

- ¿Es viable el análisis geológico y mineralógico para la interpretación del modo de ocurrencia del yacimiento?
- ¿Cuáles son los controles de mineralización en el yacimiento Imanniyoq?
- ¿Qué características geológicas a detalle se debería recopilar?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar las características geológicas y mineralógicas en la ocurrencia del Yacimiento Imanniyoq.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Analizar los resultados del estudio geológico - mineralógico, para sentar bases que sirvan a la interpretación del tipo y modo de ocurrencia del yacimiento.
- Identificar y determinar los controles de mineralización que dan lugar a la formación de los cuerpos de magnetita.
- Realizar el reconocimiento de las características geológicas locales del área de estudio a escalas más detalladas.

1.5. HIPÓTESIS:

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL:

Las características geológicas y mineralógicas en el yacimiento Imanniyoq, condicionan la ocurrencia de un yacimiento tipo skarn de magnetita; por lo que podría suponerse que el intrusivo diorítico por estar en contacto con las calizas Arcurquina puede generar un yacimiento de interés económico.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS:

- Mediante la interpretación y relación de los resultados, permitirá entender como probablemente se dio el tipo y modo de ocurrencia del yacimiento Imanniyoq.
- Los controles de mineralización presentes en la zona de estudio probablemente están controlados por importantes sistemas de fallas NW–SE y NE-SW; los cuales permiten entender como probablemente se dio el tipo y modo de ocurrencia del yacimiento Imanniyoq.
- Las características geológicas recopiladas en campo serán contrastados con los datos de los cuadrángulos elaborados con anterioridad.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La importancia del presente trabajo radica en comprender las características geológicas y mineralógicas favorables que condicionan la ocurrencia del Yacimiento Imanniyoq, la que amerita un estudio detallado que permita determinar los niveles de mineralización, alteración y proponer métodos de explotación.

1.7. VARIABLES:

1.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Condiciones Geológicas:
 - Geomorfología
 - Geología
 - Geología Estructural
 - Geología económica
 - Mineralización
- Estudios Geológicos:
 - Geoquímica

1.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES:

- Ocurrencia del yacimiento de magnetita

1.8. METODOLOGÍA DE TRABAJO:

Con la finalidad de abordar este proceso de investigación, se ha diseñado el siguiente diseño metodológico que obedecen a criterios propias de esta materia utilizando herramientas correspondientes y las teorías que ayudan a comprender el problema de investigación. Para la realización del presente trabajo de investigación se ha utilizado el “método científico” y en el marco de los alcances del método se han realizado, descripciones, pruebas de laboratorio y la explicación correspondiente en función del plan de investigación, alcanzando resultados que se explican en los capítulos siguientes. La investigación es descriptiva donde se analizan las características Geológicas de las rocas y minerales, que son las variables que se han tomado en cuenta para la ocurrencia del yacimiento Imanniyoy; es explicativo por que mediante la comprensión de las características geológicas y mineralógicas se predice la ocurrencia del yacimiento Imanniyoy en la zona de estudio y para lograr este propósito se ha planteado el siguiente procedimiento investigativo que se detalla a continuación.

1.8.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1.1. ETAPA PRELIMINAR DE GABINETE – RECOPIACION DE DATOS

En esta etapa se revisó artículos de geología económica que describen y analizan los sistemas tipo skarn, además de publicaciones que analizan los diferentes eventos en estos sistemas; a su vez se recopiló información de diferentes tesis relacionados a skarn; toda la información recolectada en esta fase se pretende contrastar en la etapa de trabajo de campo.

Con la información recolectada se estructuró el plan de trabajo de campo así como el contenido de trabajo de investigación.

1.8.1.2. TRABAJOS DE CAMPO

En esta etapa se realizó el reconocimiento de la zona de estudio llevando a cabo los mapeos geológicos superficiales, con la finalidad de identificar litologías, delimitar los contactos afloramientos, alteraciones, estructuras de los diferentes tipos de roca y mineralización, estos mapeos se realizaron a una escala más detalladas sobre una base topográfica con curvas de nivel cada 25 y 50 m, estos trabajos se realizaron utilizando todos los implementos necesarios de mapeo como son: planos, GPS, picota , brújula, lupas, rayador, colores, tableros de mapeo, etc.

1.8.1.3. ETAPA FINAL DE GABINETE:

En esta etapa se sistematizó la información recopilada para lograr los objetivos propuestos, elaborándose planos del análisis e interpretación de las características geológicas.

Además comprende la descripción de las muestras tomadas en el campo así como la presentación de fotografías para una mejor visualización de la zona de estudio y de los principales rasgos geológicos de la zona de estudio; concluyendo con la redacción del informe final.

El cartografiado geológico fue digitalizado utilizando el software Arcgis y generándose los diferentes mapas que se presentan durante el desarrollo de la tesis.

1.9. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.9.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La presencia de mineralización de hierro en el área de Chumbivilcas se conoce desde las épocas incaicas, la zona de estudio fue intensamente explotado en la época de los incas aunque no fue la actividad principal, no obstante en la época de la colonia se intensificó la explotación minera como sostiene Rendón (2009) que “uno de los ejes económicos que pusieron en marcha los españoles fue la explotación minera, en el caso de Ccapacmarca se han explotado en diferentes lugares, destaca Yavi Yavi en el sacrificio del oro y plata; en las actuales comunidades de Cancahuani y el cerro Armahuacho explotaron plata y oro, la referencia de lugares es amplia en los alrededores de la zona”, referencias que corroboran la importancia de esta zona en esta época.

En la actualidad en zonas cercanas al área de estudio hay presencia de mineros artesanales que recientemente están operando en forma artesanal por los pobladores de la zona, su búsqueda principal es por su asociación de Cu y Au.

El INGEMMET, realizó un trabajo regional dentro del programa de levantamiento geológico de la carta geológica nacional. “Geología de los cuadrángulos Cusco – Livitaca – 29 s” a una escala de 1: 100,000 publicado en 1997 y comprende principalmente estudios estratigráficos y tectónicos dentro de un marco de la geología regional.

1.9.2. BASES TEÓRICAS

1.9.2.1. MARCO REFERENCIAL:

Diversos estudios, en particular trabajos de tesis de grado se han realizado en la provincia de Chumbivilcas, en la región y en la macro región sur del país, documentos que ayudan a explicar “las ocurrencias” de esta zona, se ha seleccionado algunos de estos trabajos por su importancia y contribución para el presente estudio; el trabajo más reciente es de Fernández Torres, A. – Champi Choquepata, R. (2015): Tesis de Geólogo intitulado como “Geología y ocurrencia del yacimiento del proyecto minero de Huiniquiri – Santo Tomas, Cusco”; estudio que aporta con la descripción del tipo de mineralización al yacimiento generado en cada evento de formación y la génesis, este estudio es importante porque se encuentra cercana a la zona de investigación y están comprendidos en la misma franja metalogenética.

Guervassi Ortiz; Lauro Cardeñas E.,(2011): Tesis de Geólogo, “Geología del Skarn de Utupara – Antabamba – Apurímac”; este trabajo está relacionado al tipo de mineralización al yacimiento generado, describiendo cada evento de formación y la génesis de su emplazamiento, los cuales son tomados como referencia para la realización del presente trabajo, puesto que implica la generación del yacimiento de Skarn relacionados en la zona de estudio por tratarse de los mismos cuerpos intrusivos que habría emplazado en gran parte del Batolito Andahuaylas Yauri.

Pecho Gutiérrez, Víctor (1981): Geología de los cuadrángulos Challhuanca (29-p), Antabamba (29-q) y Santo tomas (29-r), menciona todos los estudios relacionados a la geología, geomorfología, geología estructural, principales intrusiones plutónicas, considerando estos eventos regionales como los locales, el cual está siendo tomado en

cuenta como guía para la realización del presente estudio geológico y ocurrencia del yacimiento de magnetita.

Ricalde Palomino, W. – Huayllani Olivera, M. (2015): Seminario de Geología, “Reconocimiento Geológico y mineralógico de los intrusivos de Zurite – Anta – Cusco”; explica sobre los intrusivos de Zurite, que son parte del Batolito Andahuaylas Yauri, los cuales estan conformados por cuarzomonzodioritas, el cual hospeda depositos del tipo Sakrn, estos stock emplazaron en rocas sedimentarias carbonatadas de la Formacion Ayabacas, Formacion Maras, Formacion Kayra, los cuales estan siendo controlados por un sistema de fallas locales, como la falla de Zurite de direccion E- W, falla Estancopampa con direccion NW-SE generados por las principales.

Tunque suyo, C. (2015): Tesis de Geólogo, “ Prospeccion y exploracion geológica de depositos de hierro del proyecto cerro Copane- Accha – Omacha”: trabajo en el que explica que existe un conjunto de Plutones cenozoicos denominados Batolito Andahuaylas –Yauri (Carlotto, 1988) que intruye una secuencia sedimentaria marina carbonatada de la formacion Ferrobamba (Cretácico superior).

1.9.2.2. MARCO CONCEPTUAL:

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL:

“Son los cambios en mineralogía y textura de las rocas encajonantes y circundante a las estructuras mineralizadas. La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral y para indicar el carácter de las soluciones asociadas (PH, etc.). Es la conversión de un ensamble de minerales primarios a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales. La alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos,

se conocen los siguientes tipos de alteración hidrotermal: potásica, albitica, silisificada, sericitizada, argilizada, propilitizada, cloritización, seolitización, alunitización, listvenitización, dolomitización, serpentinización, addularización, piritización y hematización”.(Rose y Burt, 1976; Utada 1980).

ANOMALIAS GEOQUIMICAS

Se denomina así a los valores anormales que se desvían considerablemente de la concentración normal de los elementos en el medio analizado (fondo geoquímico), cuya distribución puede contribuir a localizar el cuerpo mineralizado que las ocasiona.

Una anomalía es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente en un área o ambiente geoquímico. En sentido estricto un depósito mineral por ser un fenómeno escaso y anómalo es una anomalía geoquímica.

ANOMALÍAS EPIGENÉTICAS EN ROCAS CAJA

Las anomalías epigenéticas se describen como aureolas químicas, mineralógicas e isotrópicas generadas por los procesos de mineralización, de escape y de lixiviación de los elementos a través de los fluidos, que causan la mineralización y que pasan por canales desde el cuerpo mineralizado hacia las rocas caja. Estas anomalías están súper impuestas a las rocas pre-existentes y se ubican en las rocas caja de un cuerpo mineralizado. El desarrollo más extensivo de anomalías epigenéticas se observa cerca de los depósitos hidrotermales y canales de transporte de fluidos. La viscosidad baja de los fluidos favorece su penetración a lo largo de fracturas y por intersticios de la roca hacia la roca caja.

Las anomalías epigenéticas están caracterizadas por cantidades anómalas de elementos distribuidas cerca de canales hidrotermales, por la alteración hidrotermal de minerales de las rocas caja y la lixiviación de elementos de

sectores del corrido de los fluidos formadores de la mineralización. Factores que controlan la formación de la aureolas son entre otros los gradientes de temperatura, el estado de oxidación de los iones involucrados, la movilidad de los elementos participantes, los sistemas de fracturas, la permeabilidad y la reactividad de las rocas.

ANOMALIAS EN SUELOS RESIDUALES

Entiéndase suelos residuales, aquel material meteorizado in-situ o no transportado con la finalidad de conocer la concentración primaria de elementos en las rocas subyacentes. El objetivo del estudio geoquímico de suelos consiste en el reconocimiento de la distribución primaria de elementos seleccionados en las rocas subyacentes. En los suelos residuales generalmente la distribución primaria se expresa todavía en forma relativamente clara, aun estará modificada por efectos de varios procesos superficiales.

Otros procesos, que tienden a borrar la distribución primaria son la remoción de elementos mediante la meteorización y la formación del suelo (corrosión por agua meteórica, ascenso por plantas) y la adición de elementos (por deposición del agua subterránea, adición de elementos provenientes de la desintegración de vegetación, por polvos, elementos disueltos en aguas meteóricas).

DEPÓSITO MINERAL METÁLICO:

Los depósitos minerales metálicos, yacimientos metálicos o criaderos de minerales metálicos constituyen conjuntamente con los depósitos minerales no metálicos la geología económica.

Los depósitos de minerales metálicos están constituidos por metales de valor económico comercial en minerales o rocas de la corteza terrestre; estos depósitos se puede clasificar en tres categorías principales o modos de

formación: magmatismo, magmático – sedimentario y sedimentario (Cizzar 1964).

DEPOSITOS TIPO SKARN:

Son yacimientos de reemplazo metasomático caracterizados por la presencia de minerales calco-silicatados faneríticos de grano grueso, de Ca, Fe, Mg y Mn. El cual son emplazados en rocas sedimentarias calcáreas.

ELEMENTO INDICADOR

Elemento indicador, elemento indicador o elemento blanco “target element” se refiere a uno de los elementos principales del depósito del mineral, que se espera encontrar.

ELEMENTO EXPLORADOR

Es el elemento pionero o pathfinder, se refiere a un elemento asociado con el depósito del mineral, pero que puede ser dispersado en áreas más grandes.

GANGA:

Es el conjunto de rocas y/o minerales sin rendimiento económico que contiene minerales de buen valor económico o útiles. (Dávila, 1999).

MENA:

Una mena de un elemento químico, generalmente un metal, es un mineral del que se puede extraer aquel elemento porque lo contiene en cantidad suficiente para poderlo aprovechar. Así, se dice que un mineral es mena de un elemento químico, o más concretamente de un metal, cuando mediante un proceso de minería se puede extraer ese mineral de un yacimiento y luego, mediante metalurgia, obtener el metal a partir de ese mineral. Asociado al concepto de mena, está el de ganga. Se llama así al conjunto de todos los minerales sobrantes que se encuentran asociados a la mena en la roca

extraída en un yacimiento. La ganga hace que la ley del metal disminuya, por lo que es necesario separarla de la mena, como primera etapa en la concentración y obtención del metal. (Amstutz, 1971)

Mineral del cual se puede extraer un elemento o metal en condiciones económicas, ejemplo la chalcopirita es mena del cobre, la magnetita es mena del hierro, la galena del plomo, etc. (Dávila, 1999).

MINERALIZACIÓN:

Concepto definido por Dávila (1999) como el proceso mediante los cuales los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de rendimiento económico.

OCURRENCIA MINERAL:

“...Afloramiento de los minerales y rocas; también se refiere al acontecimiento de cualquier tipo de proceso o evento geológico” (Dávila, 1999); según la definición de Gocht et al (1988) es una concentración anómala de un mineral que se considera valiosa por alguien en alguna parte o que es de interés económico científico o técnico.

ROCA

Foster (1966) indica que es un conjunto de minerales de diferentes clases tamaños y de proporciones variables; en cambio Dávila (1999) define

Como el conjunto de minerales consolidados, proveniente de la solidificación del magma, consolidación y diagénesis de los materiales producto de la erosión de las rocas pre-existentes y re cristalización de las rocas pre-existentes. Las rocas se clasifican en ígneas, sedimentarias y metamórficas.

ROCA CAJA:

Término definido por Dávila (1999) como roca intruida por y que rodea a un depósito también lo denomina como aquella roca que incluye o es atravesada

por una roca ígnea, dando como ejemplo una roca que rodea ambos lados de una veta.

SKARN COMO ORIGEN DE LA MINERALIZACIÓN:

El término Skarn fue introducido por los petrólogos metamórficos Suecos (Norborg y Langaban) para designar rocas metamórficas regionales o de contacto constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg. Los skarn comúnmente ocurren en aureolas metamórficas de contacto en torno a plutones que intruyen a secuencias calcáreas a partir de procesos magmáticos e hidrotermales, estos procesos involucran la formación de soluciones procedentes de la consolidación del magma, es decir los fluidos hidrotermales aportados por el magmatismo.

De modo que se denomina Skarn a las rocas que contienen minerales calcosilicatados tales como granate y piróxenos ricos en Ca, la variación de la composición mineralógica se da de acuerdo a los componentes de los flujos hidrotermales y de la roca huésped o roca receptiva. (Enaudi, 1981 y Meinert, 1981).

FORMACIÓN DE UN SKARN

La formación de depósitos de tipo skarn involucra esencialmente tres etapas:

- **METAMORFISMO ISOQUÍMICO:**

Recristalización metamórfica y cambios mineralógicos reflejando el protolito y circulación de fluidos a alta temperatura formando minerales calcosilicatados. Incluye además el desarrollo de: mármol, rocas córneas, cuarcitas, skarn de reacción, skarnoides, talco y wollastonita hacia la periferia. (Enaudi, 1981).

- **ETAPAS MÚLTIPLES DE METASOMATISMO:**

Cristalización del magma y liberación de una fase fluida produciendo skarn metasomático. Se forman principalmente minerales anhidros por acción de fluidos de derivación magmática a temperaturas de 400°-800°C. Usualmente en esta etapa ocurre o comienza la mineralización. (Enaudi, 1981 y Meinert 1987).

- **ALTERACIÓN RETRÓGRADA:**

Enfriamiento del plutón y circulación de aguas de temperatura más baja, posiblemente meteóricas, oxigenadas, causando alteración retrógrada de los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos. En esta etapa se forman nuevos minerales hidratados de temperatura más baja, a partir de los minerales anhidros formados previamente. Incluyen: epidota, actinolita, clorita y otras fases minerales hidratadas, típicamente con control estructural y sobreimpuestos a la secuencia de progrado (fallas, contactos estratigráficos o intrusivos). En algunos casos la mineralización se extiende también a esta etapa de retrogrado.

En los skarns distales las etapas 1 y 2 están ausentes y se forman principalmente depósitos de Zn-Pb en el rango de temperatura de 210°-350°C. (Enaudi, 1981 y Meinert, 1982).

TIPOS DE FORMACIÓN DE SKARN

El metamorfismo isquímico implica recristalización y cambios en la estabilidad mineral sin transferencia de masa significativa.

El skarn de reacción es el resultado del metamorfismo de litologías intercaladas, tales como pizarras y calizas, con transferencia de masa entre capas a pequeña escala (bimetasomatismo).

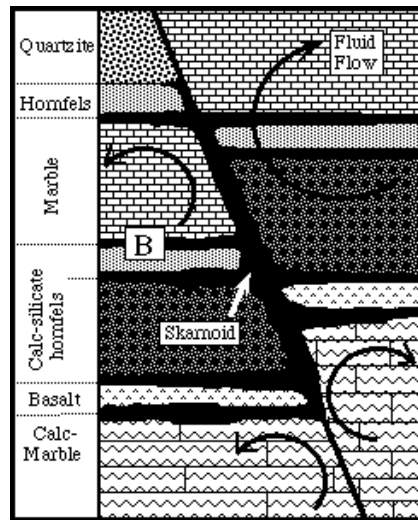


Fig. N° 1: Skarnoides resulta del metamorfismo de litologías impuras con una cierta transferencia de masa por el movimiento fluido de pequeña escala. El skarn metasomático controlado por fluido típicamente es de grano más grueso y no refleja de manera tan estrecha la composición o textura de las rocas inmediatamente circundantes.

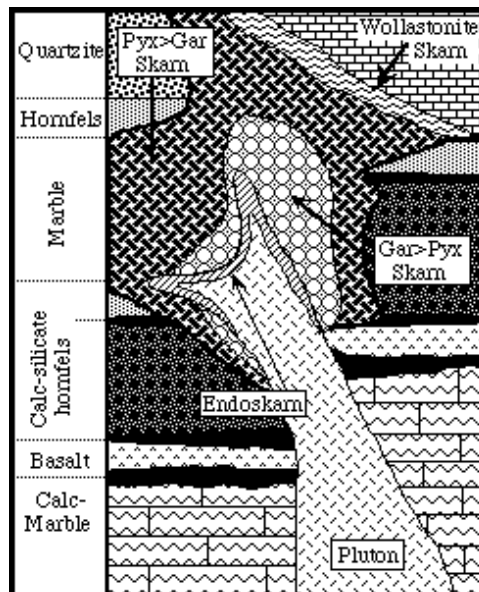


Fig. N° 2: La zonación de la mayoría de los skarns refleja la geometría del contacto del plutón y el flujo del fluido. Tales skarns se zonifican desde el endoskarn proximal hasta el exoskarn proximal, dominado por el granate. El skarn más distal suele ser más rico en piróxeno y el frente del skarn, especialmente en contacto con el mármol, puede estar dominado por piroxenoides o vesuvianita (grupo epidota mineral).

EVOLUCION DE UN SKARN

Etapas evolutivas de los depósitos de skarn asociados con el plutón:

- La intrusión inicial causa metamorfismo.
- La recristalización metamórfica y los cambios de fase reflejan composiciones protolíticas con bimetasomatismo local y circulación de fluido formando diversos minerales calcosilicato (skarns de reacción y skarnoid) en litologías impuras y a lo largo de los límites fluidos. A la pequeña cúpula cerca de la parte superior del sistema.
- La cristalización y la liberación de una fase acuosa separada dan como resultado un skarn metasomático controlado por fluido. Se dice que el skarn en profundidad es pequeño en relación con el tamaño de la aureola metamórfica. También está orientado verticalmente en comparación con el skarn lateralmente extenso que se extiende localmente más allá de la aureola metamórfica cerca de la parte superior del sistema.
- El enfriamiento del plutón y la posible circulación de aguas meteóricas más frías y oxigenadas provocan una alteración retrógrada de los conjuntos calcosilicatados metamórficos y metasomáticos. Obsérvese que la alteración retrógrada es más extensa en zonas poco profundas.

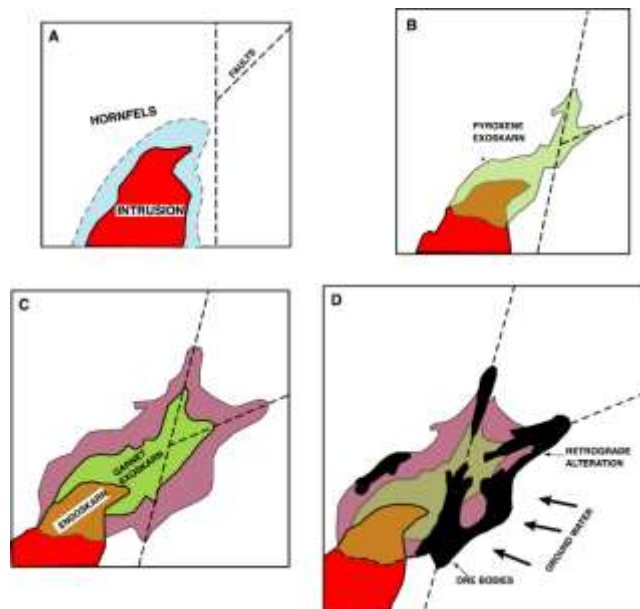


Fig. N° 3: Proceso de evolución de un skarn.

DEPÓSITOS SKARN DE Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W Y Pb-Zn

Grupos de depósitos de skarn puede basarse en las características descriptivas, como composición del protolito, el tipo de roca y de metal económico dominante (s), así como características genéticas como el mecanismo de circulación de fluidos, la temperatura de formación, y el grado de partición magmática. La tendencia general de autores modernos es adoptar una clasificación descriptiva de skarn basada en el dominio económico de los metales y a continuación, modificar la base de cada una de las categorías de composición, tectónica, o variaciones genéticas. Esto es similar a la clasificación de los depósitos de pórfido en pórfido de cobre, molibdeno y estaño; depósitos que comparten muchas características geoquímicas y alteración, pero son, no obstante, fácilmente distinguibles. Los siete principales tipos de skarn (Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W y Pb-Zn) han recibido un importante estudio moderno y muchos otros (incluyendo F, C, Ba, Pt, U, REE) son importantes localmente. Además, skarns pueden ser minadas para el sector de los minerales tales como granate y wollastonita. (Enaudi, 1981).

SKARN DE HIERRO

Los skarns más grandes son los depósitos de hierro. Las principales evaluaciones de este tipo de depósito incluyen Sangster (1969), Sokolov y Grigorev (1977) y Einaudi (1981). Skarns de Hierro son minadas por su contenido de magnetita y aunque pequeñas cantidades de Cu, Co, Ni y Au puede estar presente, el hierro es generalmente la única mercancía recuperable. Muchos de los depósitos son muy grandes (>500 millones de toneladas, >300 millones de toneladas que figuran Fe) y consisten predominantemente de magnetita con poco silicato de ganga. Algunos depósitos contienen cantidades significativas de cobre y son más típicos de transición a skarns de cobre (Kesler, 1968; Vidal y otros., 1990).

Skarns cálcicos de hierro en los arcos de islas oceánicas están asociados con plutones ricos en hierro invadiendo la pared de caliza y rocas volcánicas.

En algunos depósitos a la vista, la cantidad de endoskarn puede superar exoskarn. Minerales de Skarn consisten predominantemente de granate y piroxeno con menos epidota, ilvaíta y actinolita; todos son ricos en hierro (Purtov et al. 1989).

Alteración de rocas ígneas es común con bastante albita, ortoclasa y escapolita en venas y reemplazos, además de endoskarn.

En cambio, skarns de hierro y magnesio están asociados con diversos plutones en una variedad de entornos tectónicos, la característica común es que todos ellos forman la pared de roca dolomítica. En skarns magnesianos, los principales minerales de skarn, como forsterita, diópsido, periclasa, talco y serpentina, no contienen mucho hierro, por lo que la solución de hierro tiende a magnetita en vez de andradita o hedenbergita (por ejemplo, Hall y otros. 1989).

CLASIFICACIÓN ECONÓMICA DE UN SKARN

La tendencia moderna es adoptar clasificaciones descriptivas basadas en el metal económico dominante.

Se tiene los principales de skarn: Au, Cu, Fe, Ag, Sn, W, Zn-Pb entre otros se tiene F, C, Ba, Pt, U, REE.

YACIMIENTO:

Concepto de amplia difusión que se refiere a un depósito mineral que ha sido examinado y probado de suficiente tamaño, ley y accesibilidad para un posible proyecto de explotación con proyecciones de rentabilidad. Sin embargo hay definiciones clásicas que refieren desde la perspectiva geoquímica “...como acumulaciones o concentraciones de elementos que están presentes en la corteza terrestre solo de forma diseminada” (Bateman,

1951); como los estudios geológicos están orientados a la posible explotación del recurso, también es necesario citar la definición de yacimiento desde la perspectiva económica que sostiene (Gocht et al, 1988) como “.....acumulación local geológicamente establecida, de un mineral específico que puede ser extraído bajo las condiciones económicas actuales” y agrega Smirnov (1976) que el “...yacimiento mineral es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de unos u otros procesos geológicos, se produjo la cantidad, calidad y condiciones de yacimiento, para su explotación comercial”.

VETA O FILÓN:

Estructura paralelepípeda, generalmente mineralizada, presenta una potencia, un largo y una profundidad. Las vetas mineralizadas constituyen yacimientos de rendimiento económico. Las vetas son generalmente de relleno de fracturas o fallas por procesos hidrotermales. Se clasifican en: mono metálico, bimetálico y polimetálicas. (Dávila 1999).

1.10. UBICACIÓN

El área de estudio “cerro Imanniyoc” se encuentra ubicada en la parte alta de la comunidad campesina de Cruz Pampa, distrito de Ccapacmarca, provincia de Chumbivilcas de la región del Cusco como muestra la Fig. N° 4

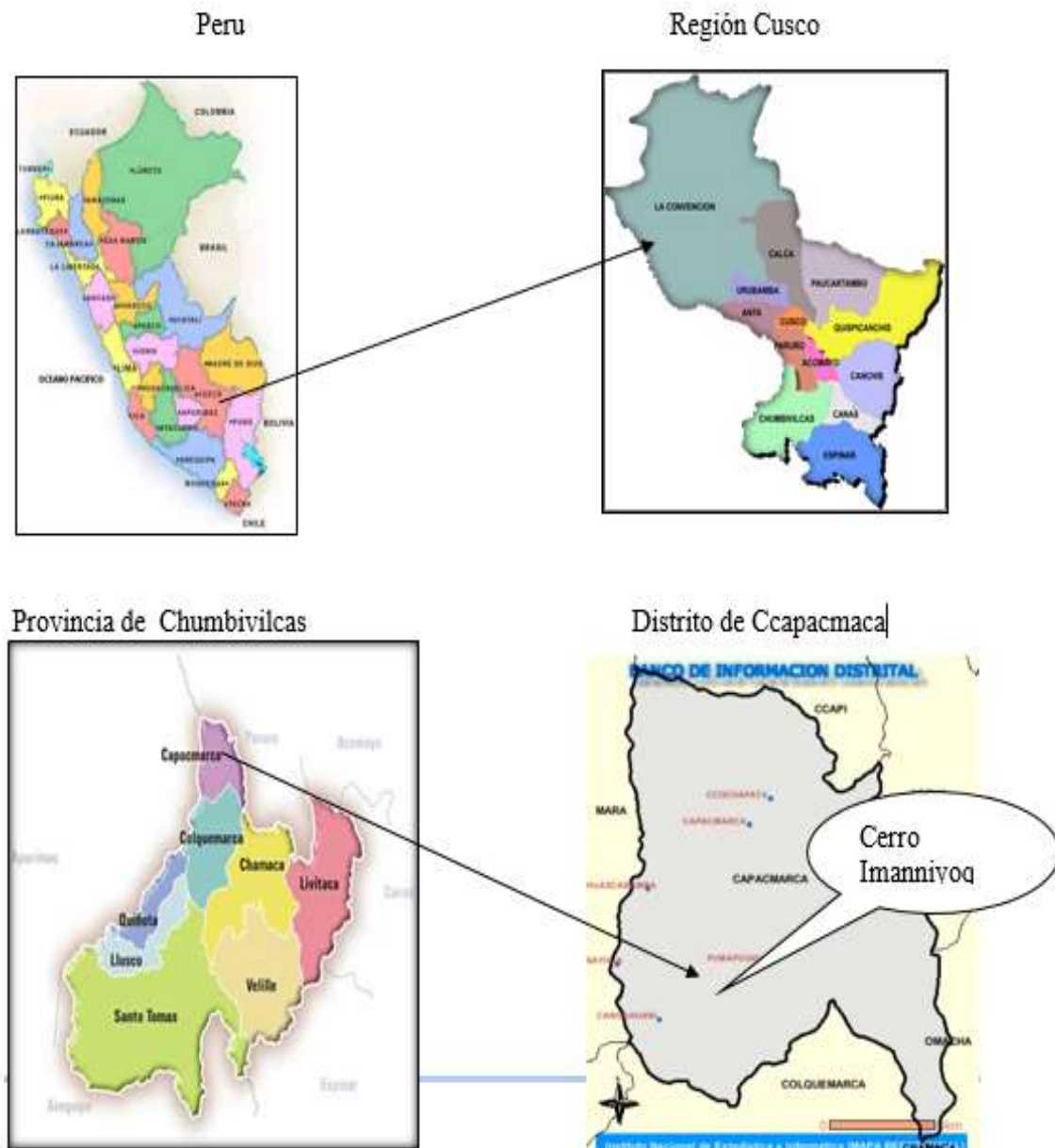


Fig. N° 4: Ubicación de la zona de estudio a distintas escalas. INEI

El área de estudio se encuentra líticamente en el cerro Imanniyuq, parte alta de la comunidad de Cruz Pampa, distrito de Ccapacmarca, Provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco.



Foto N° 1: Vista panorámica de la zona de estudio del yacimiento.

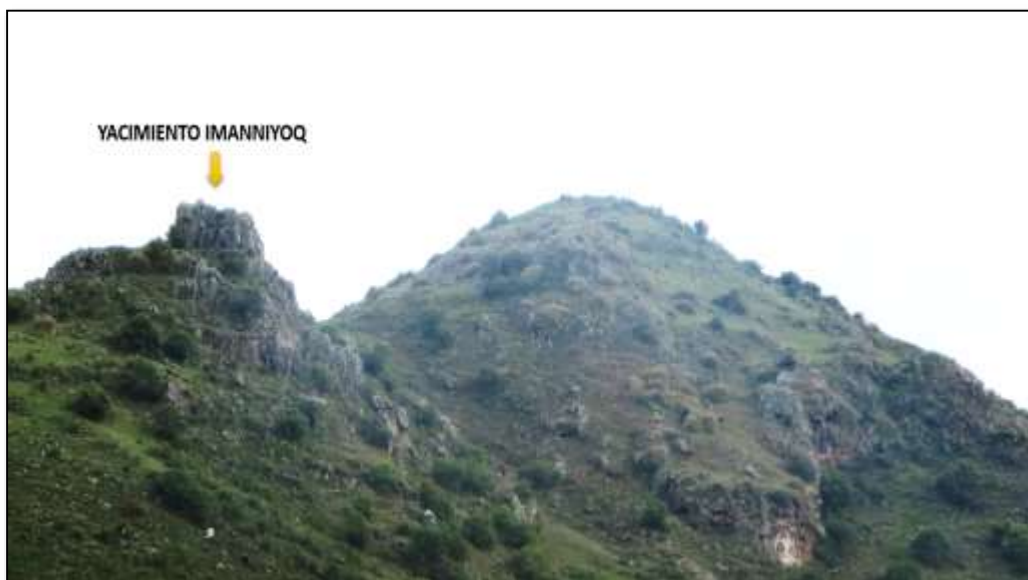


Foto N°2: Ubicación específica de la zona de estudio.

Altitudinalmente se encuentra, entre los 3600 a 4200 msnm y su lugar geográfico – geológico corresponde a la hoja del cuadrángulo de Livitaca 29s en la escala 1:100,000.

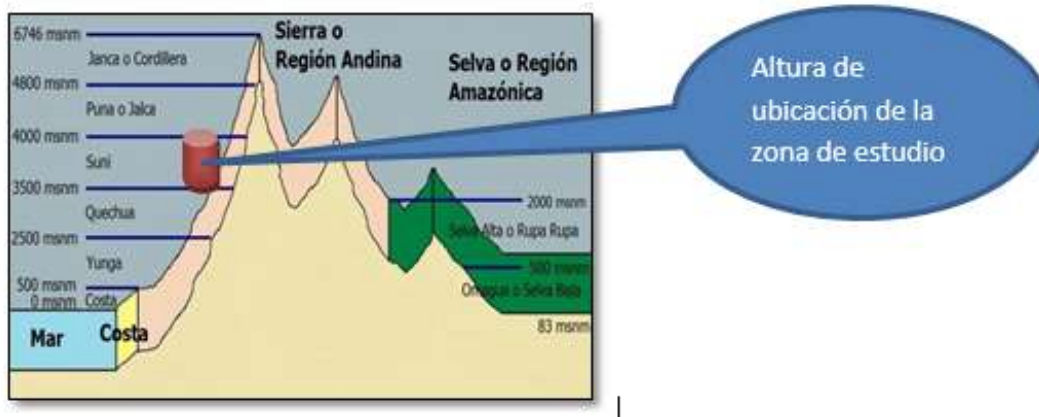
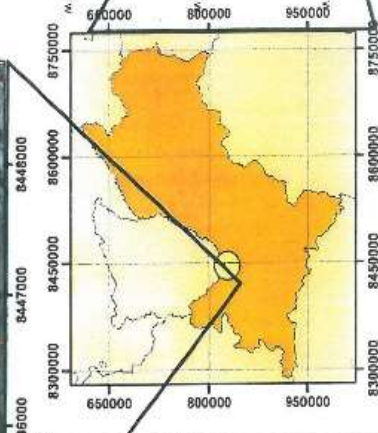
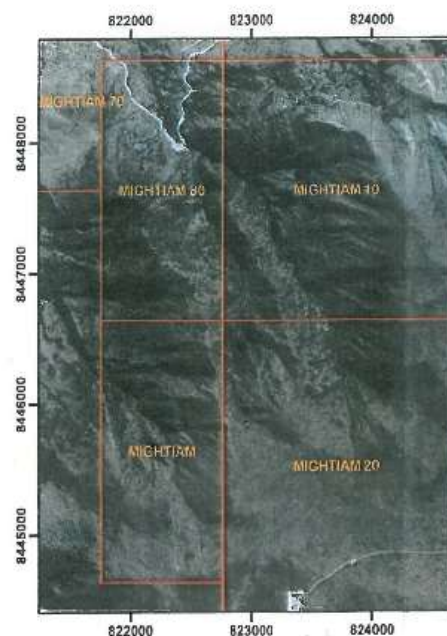
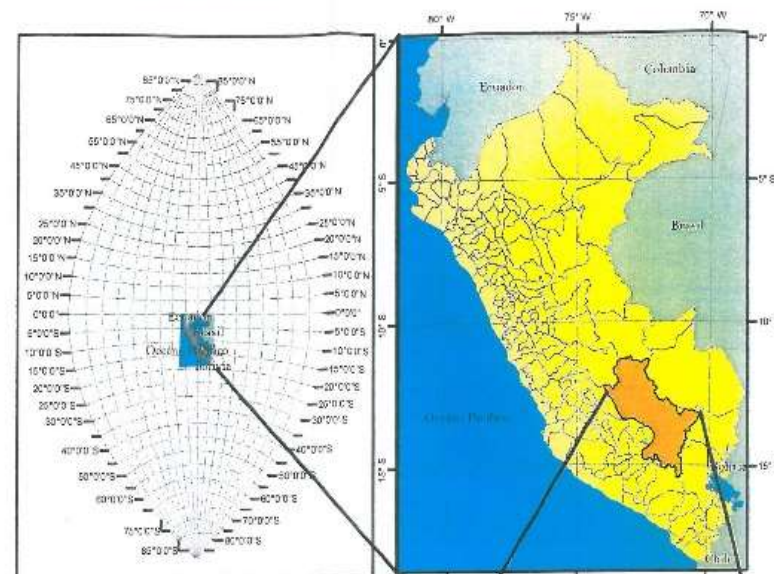
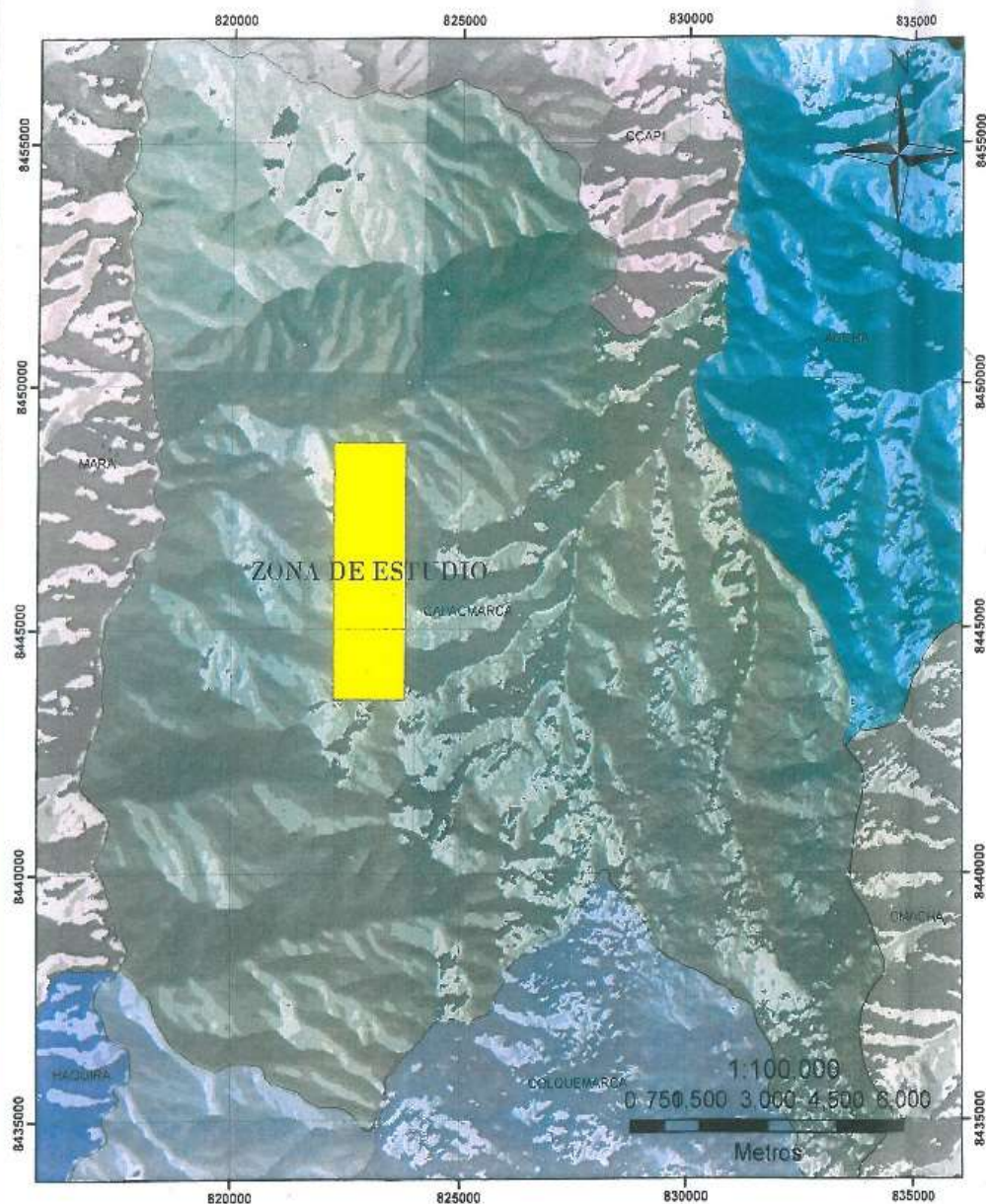


Fig. N°5: elaboración propia a partir de la clasificación de altitudes Javier Vidal Pulgar.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
TEMA: "ESTUDIO GEOLOGICO, MINERALOGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO MINERO, DISTRITO DE COPACABANA - CUSCO"	
PLAN: MAPA DE UBICACION	
ASESOR: Mg. Natividad Zepeda Caman	P-01
TESIS: Ing. Evelyn Peña Ordoñez	
INSTITUCION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	

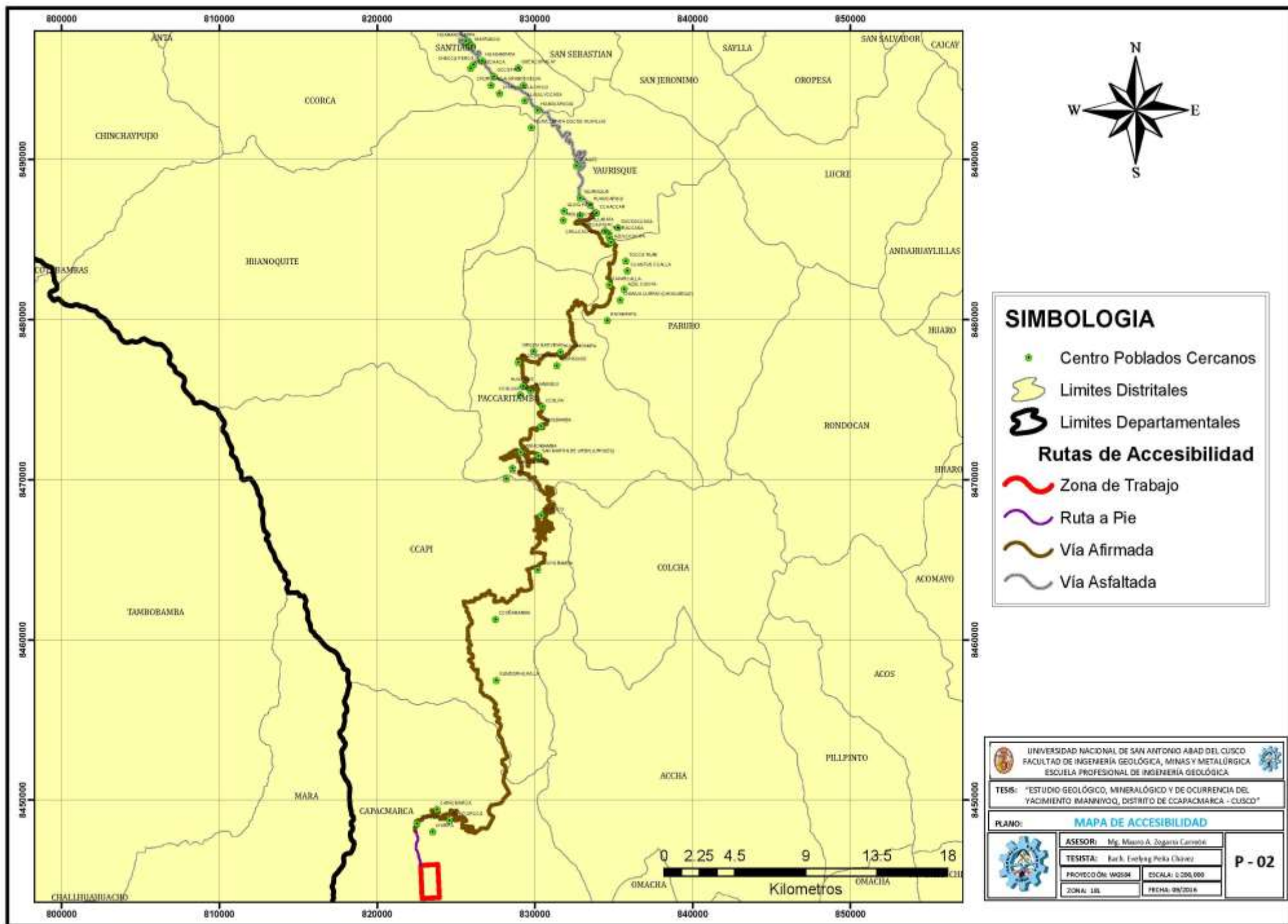
1.11. ACCESIBILIDAD:

El acceso a la zona de estudio desde Cusco se puede dar por diversa rutas, tomando en cuenta el tiempo, la condición y la distancia.

Tabla N° 1: Rutas de accesibilidad al área de estudio

RUTAS			DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Hr)	CONDICIÓN
RUTA 1	Cusco	Ccapacmarca	160	4:30	Carretera afirmada
	Ccapacmarca	Imanniyuq	2	1:30	A pie

Fuente: Propia 2016.



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: "ESTUDIO GEOLÓGICO, MINERALÓGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO IMANYIQO, DISTRITO DE CCAPACMARCA - CUSCO"			
PLANO: MAPA DE ACCESIBILIDAD			
ASESOR: Mg. Mauro A. Zegarra Carroza		P - 02	
TESIS: Ing. Evelyn Peña Chávez			
PROYECTO: 001-2014	ESCALA: 1:250,000		
ZONA: IRL	FECHA: 08/2014		

1.12. CLIMA

El clima del área de estudio presenta características típicas de las zonas alto andinas, presentando variaciones según su localización geográfica, altitud, topografía y época del año; estas características hacen que el clima de la zona del área de estudio sea de templado a frío. (Pulgar, J. 1938)

Las precipitaciones del área de estudio se caracterizan por presentar una fuerte variación estacional con los periodos anuales bien diferenciados; la temporada de lluvias o etapa húmeda que se inicia a fines de abril y dura hasta octubre; en este último periodo se soporta las heladas, también se presenta algunas precipitaciones en forma intempestiva. Este régimen pluviométrico es típico de las zonas andinas.

Con respecto a la velocidad y dirección del viento, de acuerdo con los registros de la Estación de Santo Tomas durante el periodo 2010 – 2015, la velocidad anual del viento es de 4.59 Km/h. (SENAMHI, 2015).

1.13. FLORA Y FAUNA

1.13.1. FLORA

La vegetación de la zona en estudio corresponde al paisaje alto andino, de los Andes centrales. Las principales comunidades vegetales están representadas por los árboles de distintos tamaños y de distintas especies y en la parte alta de la zona de estudio se encuentra en inicio del pajonal.

El pajonal de puna es el tipo de vegetación que encontramos por encima de los 3800 m de altitud en la zona de estudio. (MINAGRI, 2010)

En las partes rocosas y pedregosas de la zona de estudio, encontramos que la vegetación predominante está representada por la familia Poaceae (ichu). En los límites inferiores de la zona el más predominante es el chachacomo, llaully, t'ancar, también en la zona alta se encuentra la q'ayara, sambor.



Foto N° 3: Planta representativa de la flora en la zona de estudio “q’ayara”.

1.13.1.1. PAJONAL PUNA (ICHU)

Este tipo de flora es propia de las ecorregiones de la puna, es la que predomina en la zona de estudio con color parduzco amarillento determina el aspecto del paisaje, está ubicada en formaciones densas en laderas y pendientes en prácticamente toda el área de estudio.



Foto N° 4: Planta representativa de la zona “Ichu”.

1.13.2. FAUNA

En comparación con décadas pasadas la fauna está retrocediendo irremediablemente por citar un caso de extinción de especies como: puma, cóndor, venados entre otros que están reduciéndose ante la depredación.

En la zona de estudio aún se conserva la diversidad de fauna terrestre e hidrológica; dentro de la fauna terrestre destacan las aves (huallatas, condor andino y aves de pequeño porte propios de la zona, etc.), mamíferos e insectos, mientras en los cuerpos de agua destacan los peces, anfibios y otros animales.



Foto N° 5: Cándor andino.

El D.S. N° 034-2004-AG considera al cóndor andino como especie en peligro, paralelamente este decreto considera al puma y vicuña como especie casi amenazadas.

En cuanto a los mamíferos domesticados en la zona podemos considerar el ganado vacuno, ovino y equino; mientras en el grupo de mamíferos catalogados como carnívoros se tiene al zorro y al puma. En tanto a los roedores se destaca la presencia de vizcacha.

1.14. HIDROLOGÍA LOCAL:

El área de estudio del yacimiento Imanniyuq se encuentra situada en las divisorias de aguas de la cuenca del río Santo Tomás según el mapa de cuencas Hidrográficas del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2010).

1.14.1. RIO SAN FRANCISCO:

Este río tiene una dirección NW-SE y tiene su origen en el cerro Sut'ucc machay que se encuentra al SE de la zona de estudio es uno de los afluentes principales del río Santo Tomás y en su cauce arrastra principales sedimentos de rocas ígneas.



Foto N° 6: Presencia del río San Francisco en la zona de estudio.

CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

2.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Chacón (1996) sostiene que en un contexto regional la zona de estudio se encuentra ubicado dentro de la unidad morfo estructural de la cordillera Occidental, quien realizó a nivel nacional la clasificación de 9 unidades morfo estructurales; por otra parte (INGEMMET, 2010) realiza una nueva clasificación en 13 unidades morfo estructurales.

2.1.1. CORDILLERA OCCIDENTAL

En un contexto regional la zona de estudio está localizado en una cadena de montañas constituyendo el ramal occidental de la Cordillera de los andes, cuyo emplazamiento en la región de Cusco se manifiesta principalmente en las Provincias de Chumbivilcas, Espinar, Paruro y parte de Canas (Tumillan, 1998).

El (INGEMMET, 1997) considera que esta unidad montañosa, litológicamente está constituida por un núcleo paleozoico cubierto por rocas mesozoicas y cenozoicos, deformadas por un intenso plegamiento, fallas inversas y grandes sobre escurrimientos, la altura alcanzada por esta unidad es debido a movimientos epirogénicos acontecidos hasta el terciario tardío y el cuaternario.

En la Cordillera Occidental, se pueden reconocer y describir unidades geomorfológicas regionales entre ellas podemos descartar: altiplanicies, montañas y valles.

2.1.1.1. ALTIPLANICIES:

Son paisajes con un territorio más o menos plano considerado como meseta, esta unidad geomorfológica tiene una extensión considerable, situados a determinada altura que oscilan entre 3800 y 4800 msnm, con una superficie relativamente ondulada en la que algunas veces se presentan cauces antiguos de ríos abandonados. Esta unidad posee un suelo hidromórfico denominado regionalmente “bofedal”.

2.1.1.1.1. ALTIPLANICIES ALLANADAS:

Está conformada por planicies con relieves llanos y pendientes ligeramente inclinadas entre un rango de 0 a 25%, se ubican en las partes altas, generalmente sobre los 3 800 a 4 800 m.s.n.m. Estas altiplanicies poseen un relieve producto de un proceso de deposición y erosión de las glaciaciones cuaternarias que han dejado superficies llanas, conformadas por depósitos de la formaciones, cuyo origen está ligado a depósitos lacustres, morrénicos y aluviales – fluviales.

2.1.1.1.2. ALTIPLANICIES DISECTADAS:

Son superficies caracterizadas por una topografía moderadamente empinada entre 15 - 25 % de inclinación, diseccionadas y ubicadas entre los 3800 y 4800 m.s.n.m. Se originó a partir de superficies rocosas duras de estructura tabular, donde la erosión fluvial ha diseccionado diversas estructuras de suelo y de roca.

2.1.1.1.3. ALTIPLANICIES ONDULADAS:

Constituyen sectores de planicies con un relieve más ondulado y de irregular topografía tal como ocurre en la cabecera del río Apurímac, producto de la erosión y deposición, posee pendientes que van desde moderadamente inclinado a moderadamente empinado cuyo rango varía entre 4 - 15%, generalmente se ubican sobre los 3800 hasta los 4500 m.s.n.m.

2.1.1.1.4. FONDOS DE VALLE ALUVIAL – MONTAÑOSO:

Presentan una superficie plana de depósitos fluvial - lacustres producto del proceso erosivo de la roca, las pendientes son de moderadamente inclinadas a empinadas y poseen un rango que varía de 4 - 15%.

2.1.1.1.5. FONDOS DE VALLE GLACIAR – ALUVIAL:

Son suelos de reciente formación (cuaternario), ubicados por encima de los 3300, poseen un relieve que varía desde moderadamente inclinado a moderadamente empinado, con un rango de pendiente entre 4 a 25%, su origen está ligado a cursos fluviales como el principal factor erosivo y modelador, pero algunas de ellas han sido modeladas por el avance de masas de hielo que dominaban el paisaje en fases glaciares cuaternarias.

2.1.1.1.6. LLANURA DE VALLE ALUVIAL:

Son suelos de formación reciente (cuaternario), su origen está ligado a cursos fluviales, presenta una pendiente entre 4 – 25%.

2.1.1.2. VALLES

Estos valles forman parte de los valles más importantes de área y constituyen formas negativas por donde discurren caudales de la cuenca del Atlántico, constituyen valles profundos y encañonados, como del río Santo Tomas y el río Velille.

Sus perfiles transversales casi siempre son simétricos con gran pendiente y sinuosidades o con marcadas inflexiones, debido a controles litológicos y estructurales. Esta unidad corta a diversas unidades rocosas.

2.1.1.2.1. VALLES DEL RIO SANTO TOMAS:

El valle del rio Santo tomas tiene sus orígenes sobre 4900 msnm de altura en el departamento de Arequipa en los nevados de Ochuso y cheque y el poblado de Pashma, en el distrito de Llusco, dando origen al rio Huancarana, Cañahuaymayo y Ranropata uniéndose estos en las proximidades del poblado de Lara, cerca de Santo tomas a 3660msnm siguiendo su recorrido a lo largo de Llusco y Quiñota. Recibe el caudal del rio Colcha para posteriormente unirse con el rio Velille confluyendo en la Provincia de Paruro. Geográficamente delimita a los distritos de Ccapacmarca y Haquira.

2.1.1.2.2. VALLE DEL RIO VELILLE

El rio Velille tiene como punto de origen a la laguna de Yanacocha, que recorre en su integridad el distrito del mismo nombre, recibiendo además el caudal del rio Chilliroyoc y Limayoc. Aguas debajo del poblado de chamaca recibe el aporte del rio Tamayco y prosigue su recorrido sobre territorios de Acomayo para unirse con el rio Apurímac y formar luego el rio Santo tomas.



Foto N° 7: Rio Velille.

2.1.1.3. MONTAÑAS

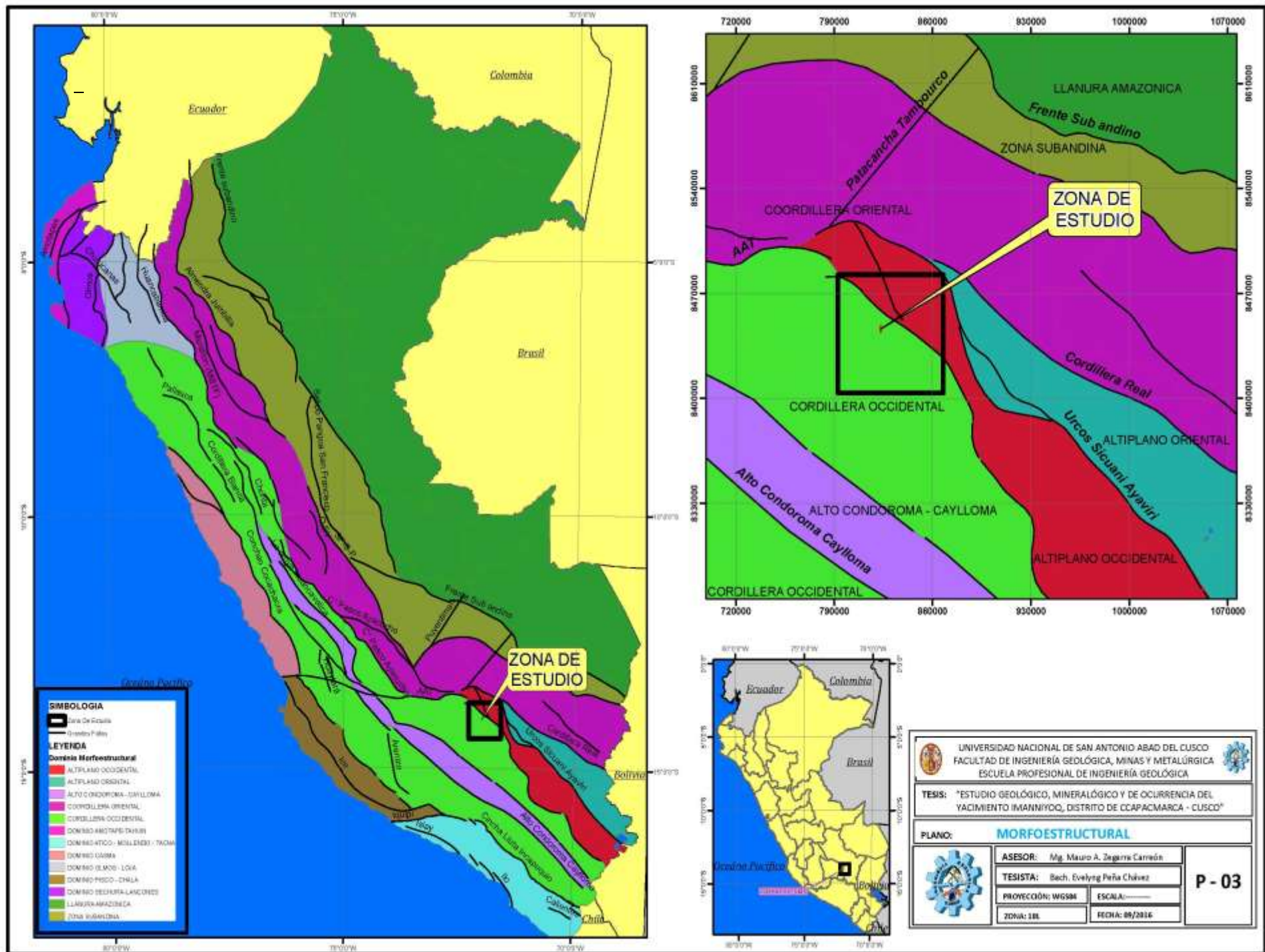
Las montañas están definidas como terrenos de gran elevación que sobresalen del entorno, sus desniveles están comprendidos entre 4200 a 4985msnm, presenta vertientes moderadamente empinadas a empinadas y cuyas pendientes se ubican entre un rango 15 a más de 50% y alturas que superan los 1000 m desde la base del río hasta la parte más alta del relieve. Las cadenas montañosas de los andes se han ido modelando y diseccionando desde los periodos terciarios hasta el cuaternario, producto del levantamiento orogénico y el efecto erosivo de factores como el viento, el agua, etc. entre los más importantes se tiene los siguientes:

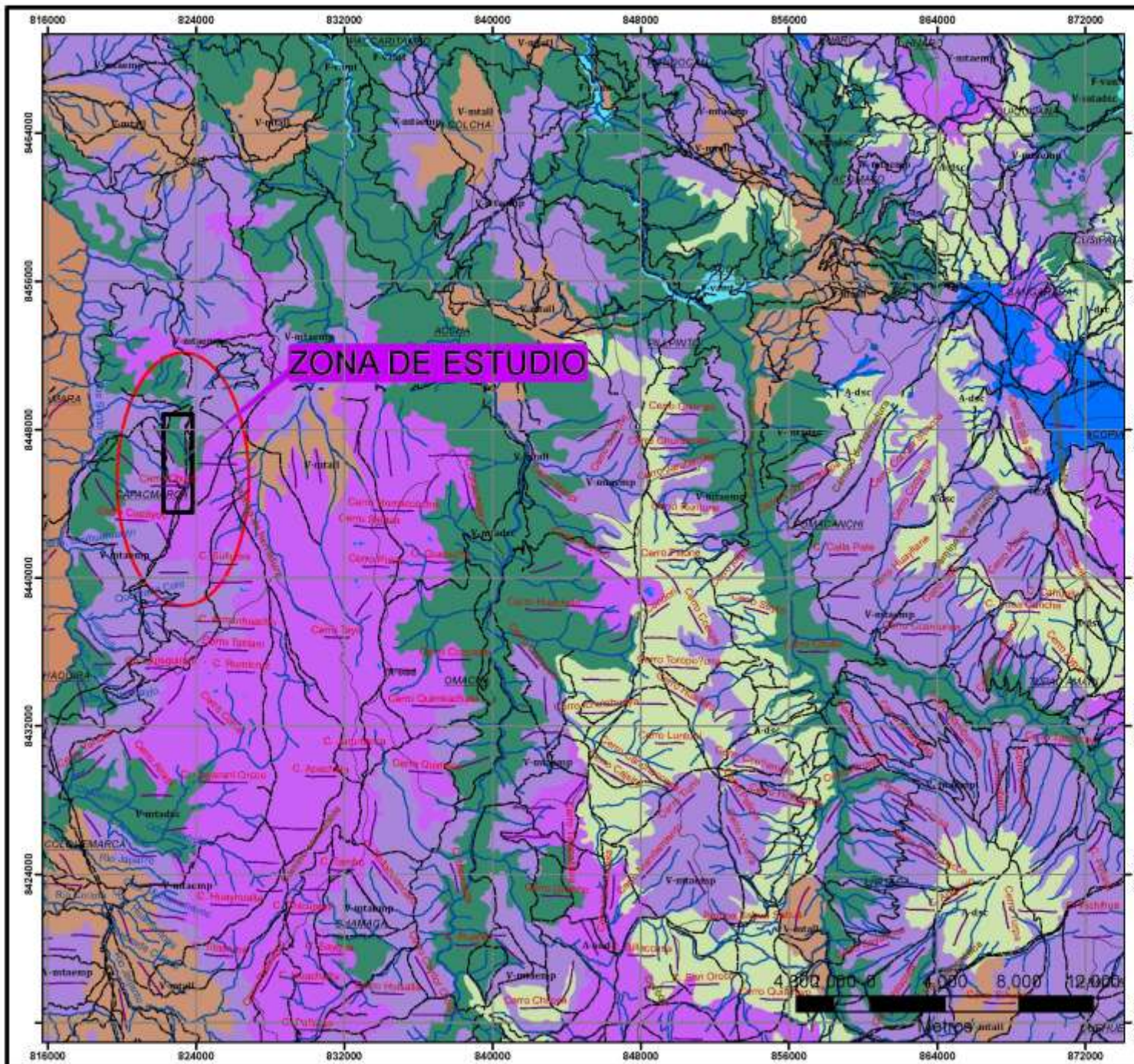
2.1.1.3.1. VERTIENTES DE MONTAÑA ALLANADA

Son estructuras fisiográficas moderadamente empinadas de altitudes que superan los 300 metros desde la base del río a la cima, Estas vertientes se encuentran en el extremo oeste de la provincia, el rango de pendiente y la altura son producto de una erosión bien avanzada. Poseen una configuración litológica compuesta por rocas del paleozoico, intrusiones terciarias y algunas rocas sedimentarias de terciario.

2.1.1.3.2. VERTIENTES DE MONTAÑA EMPINADA

Las vertientes de montañas empinadas, presentan una topografía accidentada. Están conformadas por vertientes montañosas de más de 1000 metros de altura con respecto al nivel de la base, con un relieve empinado entre 25 a 50% de inclinación. Se formaron por la excavación cuaternaria de los glaciares, ríos y los movimientos tectónicos que afectaron principalmente a volúmenes rocosos poco resistentes, la erosión también se da por las condiciones naturales accidentadas. En parte están constituidas por afloramientos pizarrosos y esquistosos y en menor proporción por rocas sedimentarias del terciario y rocas intrusivas y metamórficas, también la erosión actual está ligada a condiciones naturales accidentadas.





SIMBOLOGIA

- Vias
- Rios
- LIMITES DISTRITALES
- AREA DE ESTUDIO
- LOCALIZACION

LEYENDA

- Altiplanicies allanadas
- Altiplanicies disectadas
- Altiplanicies onduladas
- Fondos de valle aluvial montaño
- Fondos de valle glaciari y aluvi
- Llanura de valle aluvial
- Vertientes de montaña allanada
- Vertientes de montaña disectada
- Vertientes de montaña empinada
- Lagos y Lagunas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO, MINERALOGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO INANAYOC, DISTRITO DE CEAPAMARCA - CUSCO"	
PLANO: GEOMORFOLOGICO REGIONAL	
ASESOR: Mg. Mauro A. Zegarra Carmona	P - 04
TESIS: Bach. Dorian Peña Chalea	
PROYECCION: WGS84 ESCALA: 1:200,000	
ZONA: 18L	FECHA: 09/2018

2.2. GEOMORFOLOGIA LOCAL

Las características geomorfológicas que se observan en el área de estudio son el resultado de procesos de geodinámica interna y externa, que han modelado el rasgo morfo estructural de la región, fisiográficamente el área de estudio se caracteriza por presentar relieves ondulados condicionados por presencia de la cordillera de los andes y así mismos, presenta áreas planas onduladas formadas por la presencia de cauces de quebradas estacionales.

La zona de estudio está caracterizada por un típico relieve de fuerte modelado, se pueden diferenciar 5 unidades geomorfológicas y 3 paisajes principales: Colinas, altiplanicies y valles.

2.2.1. COLINAS (C)

Son relieves elevados que se caracterizan por presentar pendientes entre 8% y más de 50% con alturas variables, pero que no pasan los 300 metros sobre los llanos circundantes. Son geo formas originadas por periodos de disección reciente, en función de los factores litológicos locales, es por ello que las colinas se clasifican de acuerdo a su altura, grado de disección y edad de los tipos litológicos dominantes.

Entre las formas identificadas en la zona de estudio de estos relieves, se tienen las siguientes:

2.2.1.1. COLINAS BAJAS FUERTEMENTE INCLINADAS

Son elevaciones con pendientes de 25 a 50% y alturas sobre su nivel de base local comprendidas entre 20 y 50 metros. Son geo formas generadas por desgaste moderado de los sedimentos pleistocénicos de los depósitos morrénicos.

Litológicamente, estas colinas se hallan integrados por material cuaternario. Constituyen zonas de mediana estabilidad pero con un grado de erosión actual y potencial algo más elevado.

El principal proceso erosivo que los afecta es el escurrimiento difuso y laminar; sin embargo, actividades de tala del bosque podrían generar escorrentía concentrada en cárcavas y algunos pequeños derrumbes. Sus relieves se desarrollan con cierta extensión en diversos sectores del área, entre el río San Francisco, así como en las quebradas Yanaccacca e Imanniyoc.

2.2.1.2. COLINAS BAJAS LIGERAMENTE INCLINADAS

Son relieves de origen estructural-denudacional, de 20 a 50 metros de altura sobre su nivel de base local, que se caracterizan por presentar cimas cónicas o aristadas y pendientes que oscilan entre 15 y 25%. Son relieves que se reconocen por su ligero grado de inclinación y porque se han generado sobre un capas rocosas sedimentarias de la formación Arcurquina.

Las colinas bajas ligeramente inclinadas, son unidades que están conformados por macizos originados por procesos geotectónicos de la corteza terrestre con fallas, plegamientos y vulcanismo, corresponden a los ramales de la Cordillera de los Andes, con una morfología lineal – estructura muy compleja y una evolución morfológica controlada por una sucesión de montañas con modelados variables que orienta la topografía.

2.2.1.2.1. CERRO CHUÑUNA

Tiene una elevación de 3780 m.s.n.m. y esta se desarrolla sobre la formación Arcurquina y se encuentran al NW de la zona de estudio; ligeramente se encuentra ondulada y por sus flancos se encuentran erosionado por las aguas superficiales que discurren en épocas de precipitación pluvial.

2.2.1.3. COLINAS BAJAS MODERADAMENTE EMPINADAS

Son elevaciones con pendientes pronunciadas de 25 a 50% y alturas sobre su nivel de base local comprendidas entre 20 y 50 metros. Constituyen zonas de mediana estabilidad pero con un grado de erosión

actual y potencial algo más elevado. Sus relieves se desarrollan con cierta extensión en diversos sectores del área.

2.2.1.3.1. CERRO PALLALLAQ'E

Tiene una altitud de 4340 m.s.n.m. en cuyas partes altas podemos encontrar laderas relativamente empinadas que se encuentran desarrolladas sobre rocas dioríticas y se ubica al SW de la zona de estudio.

2.2.1.3.2. CERRO IMANNIYOQ

Tiene una altitud de 4150 m.s.n.m. en cuyas partes altas podemos encontrar laderas bien empinadas o con bastante pendiente, y se encuentran desarrolladas sobre rocas plutónicas (Batolito diorítico).

2.2.1.3.3. CERRO SILCAHUAMANI:

Tiene una altitud de 4350 m.s.n.m. principalmente sus blancos están constituidos por material cuaternario y tiene una pendiente bien pronunciada ubicada al SE de la zona de estudio.

2.2.1.4. COLINAS BAJAS MODERADAMENTE INCLINADAS

Son relieves con pendientes que oscilan entre 15 y 25%. Son relieves que se reconocen por su ligero grado de inclinación. Sus relieves se distribuyen en diversos lugares de la zona de estudio. Estos relieves son considerados como de regular a moderada estabilidad, debido a que en condiciones naturales solo se encuentran afectados por un escurrimiento laminar de poca intensidad y por algunos pequeños derrumbes en las zonas de mayor pendiente.

2.2.1.5. LOMADAS ALLANADAS

Son pequeñas geo formas de topografía plana a ondulada generalmente presentan un origen agradacional - denudacional, cuyas elevaciones no sobrepasan los 20 metros, oscilando sus pendientes entre 8 y 15%. Su conformación se debe al desgaste pronunciado de relieves preexistentes, que han dado lugar a depósitos coluviales cuaternarios.

La acción actual de los procesos erosivos es poco apreciable debido a la poca magnitud de las elevaciones, a la escasa pendiente de sus laderas y a la tupida cobertura vegetal que las cubre. En términos generales, estos relieves son catalogados como de buena estabilidad geomorfológica, pero de producirse actividades de tala del bosque, estas podría desencadenar procesos erosivos más intensos de los que actualmente ocurren. Estos relieves se desarrollan en forma más o menos continua bordeando las elevaciones montañosas de la Cordillera Occidental.

2.2.1.6. LOMADAS LIGERAMENTE INCLINADAS

Estas lomadas, constituyen elevaciones poco accidentadas de topografía ondulada pero de origen estructural-denudacional, cuyas alturas sobre los llanos circundantes son normalmente inferiores a 20 metros, presentando pendientes entre 8 y 15%.

2.2.2. COLINAS ALTAS:

Morfológicamente ofrece un paisaje moderadamente agreste, constituyendo los lugares de altitudes entre 3800 – 4600 msnm, con frecuencia se han formado en esta unidad escarpas abruptas. También se puede apreciar un aspecto cárstico con superficies rugosas a áspera debido al diferente comportamiento frente a la meteorización. En muchos sectores se puede observar colinas suaves con moderados perfiles convexos debido a que están formados por calizas. La caverna de mayor amplitud regional, es la de Livitaca, con importancia espeleológica reconocida a nivel Nacional.

Litológicamente está conformada por rocas calcáreas y clásticas de la Formación Arcurquina y el Grupo Moho.

2.2.3. ALTIPLANICIES (P)

Esta unidad geomorfológica se reconoce principalmente en el cuadrángulo de Livitaca y está representado por pequeñas planicies o terrenos ondulado en general esta unidad tiene una extensión considerable y se desarrolla sobre altitudes que oscilan entre 3600 y 4200 msnm, con una superficie relativamente ondulada en la que algunas veces se presentan cauces antiguos ríos abandonados. Esta unidad posee un suelo hidromórfico denominado regionalmente “bofedal”.

2.2.3.1. TERRAZAS

Es el espacio llano en forma escalonada en un terreno elevado. El encajonado y el escalonado permite fijar sus edades, así tenemos:

Limitada por declives pronunciados, entre ellas podemos apreciar en la zona terrazas fluviales, terrazas aluviales, terrazas estructurales (formadas aprovechando la inclinación variada de la estratificación y la erosión diferenciada producida).

2.2.3.1.1. TERRAZAS ALTAS FUERTEMENTE INCLINADAS

Estas terrazas comprenden los diferentes niveles de terrazas antiguas elevadas de edad pleistocénica, cuyas alturas sobre los llanos circundantes fluctúan entre 8 y 30 metros, pero se diferencian de ella en que sus relieves esencialmente llanos a ondulados presentan una más alta densidad de disecciones, resultado de una mayor y prolongada intensidad en la actividad erosiva, igualmente el desarrollo de lomadas es más frecuente. Sus pendientes oscilan entre 0 y 8%. Igualmente, estos relieves son considerados de buena estabilidad geomorfológica por presentar superficies estables, sin embargo en algunos de sus taludes puede ocurrir erosión concentrada en cárcavas.

2.2.3.1.2. TERRAZAS ALTAS MODERADAMENTE INCLINADAS

Constituyen superficies elevadas, llanas a onduladas, desarrolladas sobre materiales aluviales acumulados durante el pleistoceno. Sus pendientes oscilan entre 0 y 8% en tanto que sus alturas alcanzan los 8 a 30 metros con respecto a su nivel de base.

En general, estos relieves constituyen áreas de buena estabilidad geomorfológica. Estos relieves se desarrollan en forma limitada en la zona de estudio.

2.2.3.1.3. TERRAZAS MEDIAS INCLINADAS

Conforman superficies de relieve plano ondulado y de origen agradacional, con 0 a 8% de pendiente, y que han sido desarrolladas durante tiempos sub recientes (límite pleistoceno-holoceno). Presentan un drenaje bueno a moderado y alturas de 4 a 8 metros respecto al nivel de estiaje de los ríos. Estas terrazas se caracterizan por presentar en su superficie amplios y frecuentes ondulamientos, resultado de una moderada actividad erosiva pasada y en cuyos sectores depresionados pueden ocurrir zonas hidromórficas. Debido a su altura, esta unidad no es afectada por desbordes ni inundaciones, salvo probablemente sus niveles más bajos durante las crecientes excepcionales. Debido a la meteorización, sus suelos presentan un cierto grado de lixiviación aunque es menor en las áreas que eventualmente reciben aportes de bases. Estos relieves constituyen superficies geomórficas de buena estabilidad morfo dinámica.

2.2.3.1.4. TERRAZAS BAJAS MODERADAMENTE INCLINADAS

Son superficies llanas que presentan menos de 2% de pendiente y alturas inferiores a 4 metros sobre el nivel de caudal mínimo de los ríos, pero se diferencian de ellas ya que ellos conforman el conjunto de terrazas bajas aluviales, inundables, sólo durante los eventos lluviosos extremos. Normalmente, su configuración es alargada y sus bordes ribereños se

hallan expuestos a socavamientos y erosión lateral, durante los periodos de crecientes estacionales.

2.2.4. VALLES

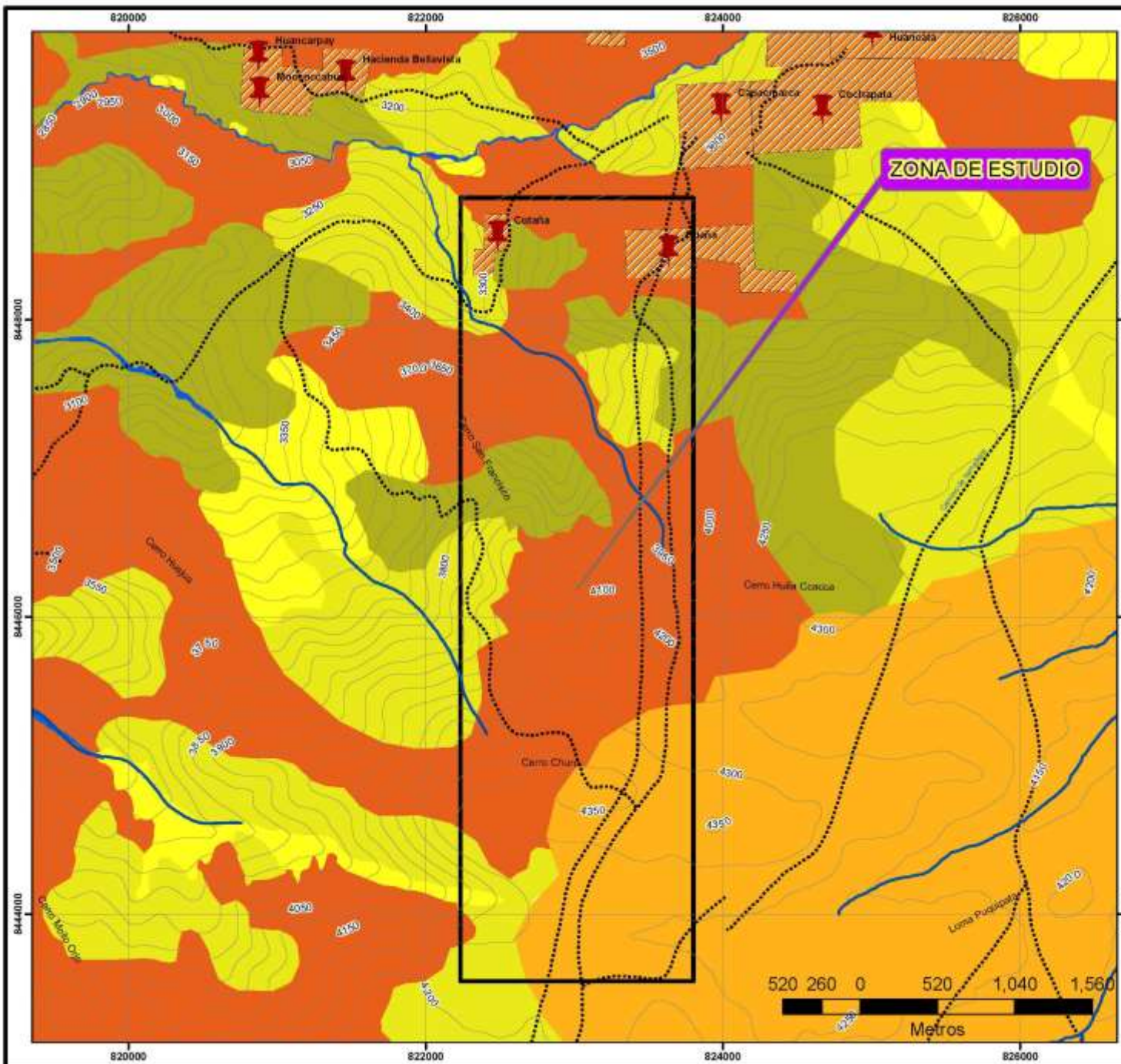
Esta unidad es objeto de la acción activa de los fenómenos extremos lo que hace que las geoformas sean relativamente inestables con pendientes abruptas que cada vez tienden a desarrollar valles más profundos de sección transversal en V como el caso del rio Santo Tomás donde tienen como confluente al rio Tincoc también en la zona del rio Parccoray.

2.2.4.1. LLANURA ALUVIAL

De origen más remoto, el mismo que de los fondos de valles aluviales, que posteriormente estas geomorfias han sido modeladas por los sedimentos que descendían de los grandes glaciares que se formaron en la época de los periodos fríos.

2.2.4.2. QUEBRADAS

Con pendientes fuertes a lo largo del rio San Francisco tenemos: quebrada yanaccacca (se desplaza a lo largo del rio San Francisco tiene unas pendientes pronunciadas y abruptas) y la quebrada Imanniyoc (se encuentra al SW de la zona de estudio, que está atravesando el grupo Colquemarca con una dirección NW-SE y tienen las pendientes bien pronunciadas y está al pie del cerro Imanniyoc).



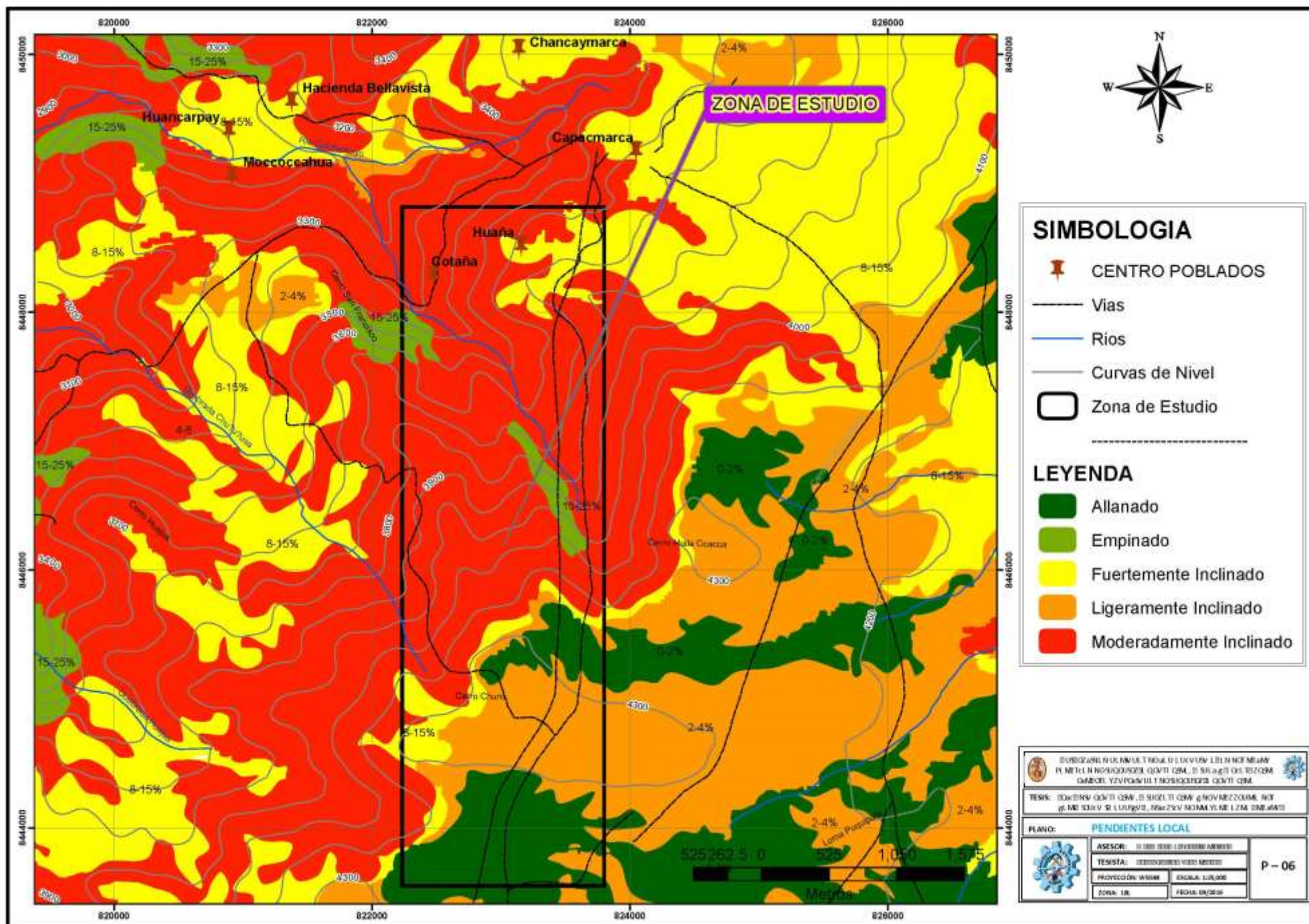
SIMBOLOGIA

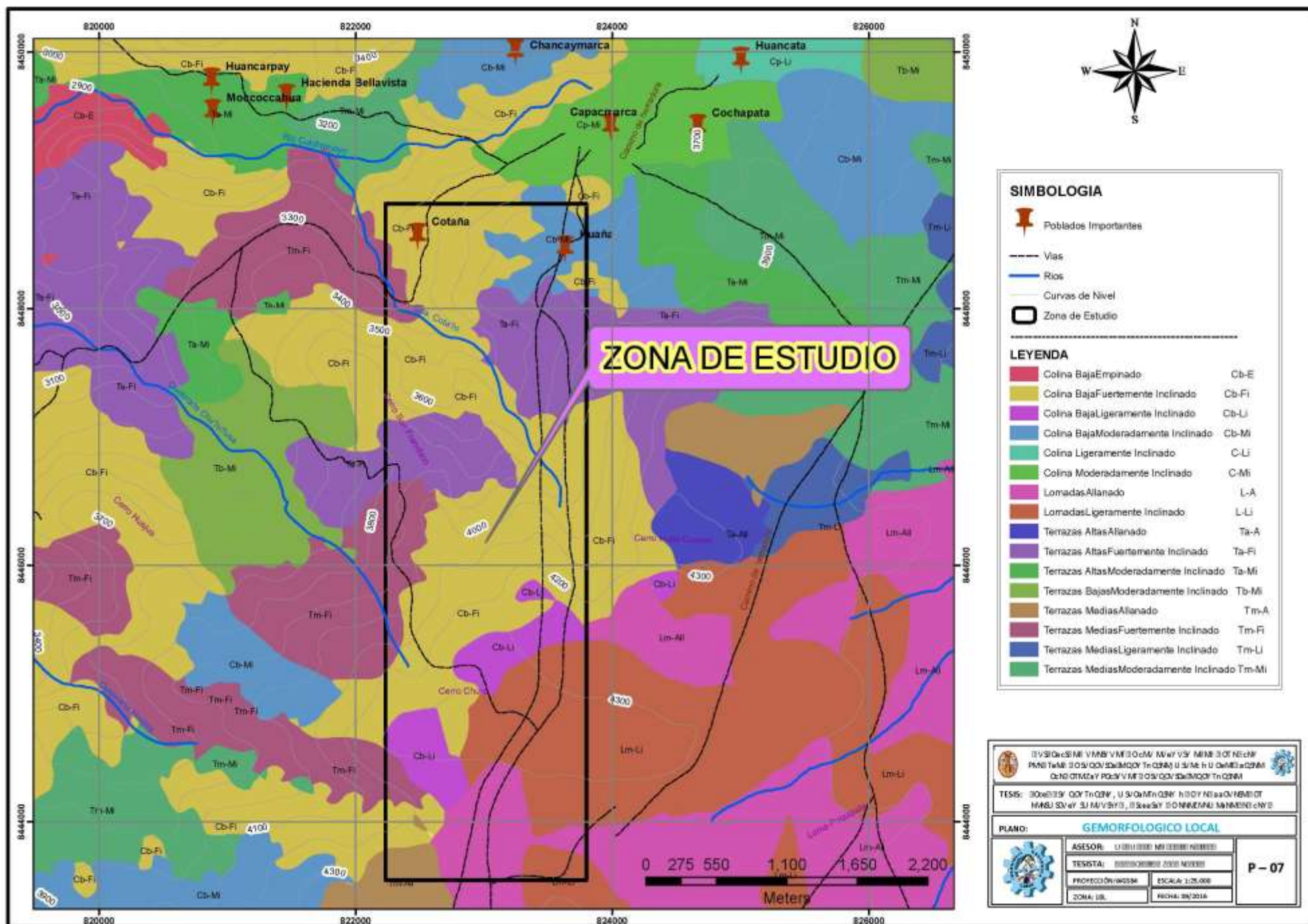
-  Poblados Importantes
-  Rios
-  Curvas de Nivel
-  Vias
-  Area De Estudio

LEYENDA

-  Colina
-  Terrazas Bajas
-  Terrazas Medias
-  Terrazas Altas
-  Colina Baja
-  Lomadas

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO, MINERALOGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO IMANNIYQO, DISTRITO DE CCAPACHMARCA - CUSCO"			
PLANO: FISIOGRAFICO LOCAL			
ASESOR: Mg. Mauro A. Zegarra Carcedo		P - 05	
TESISITA: Ruth Evelyn Peña Cháves		ESCALA: 1:25,000	
PROYECCION: WGS84		FECHA: 08/2024	
ZONA: UBL			





CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL:

La Geología regional está basada a partir de la información obtenida de los mapas geológicos realizados por el Instituto Geológico minero Metalúrgico (INGEMMET), en una escala de 1:100,000. Correspondiente a los cuadrángulos Santo tomas y Cusco – Livitaca del boletín 29 r y 29 s, como mostrarnos una visión general de comportamiento geológico hacia la zona de trabajo.

En la zona de trabajo se observa una variada secuencia de rocas de diversa naturaleza, principalmente rocas intrusivas y rocas sedimentarias. Cuyas apariciones, sucesiones y sucesos que dieron origen a esta disposición de afloramientos, están datados entre el Cretácico y neógeno. Siendo mayormente cubiertos por depósitos recientemente cuaternarios.

Desde el punto de vista geográfico el yacimiento Imanniyoq está situado en un cinturón elongado de rocas sedimentarias mesozoicas que se extienden por más de 300 Km desde Andahuaylas en el NE hasta Yauri en el SE; el área de estudio comprende afloramientos de rocas sedimentarias en contacto con rocas intrusivas que van desde el cretáceo inferior hasta el cuaternario.

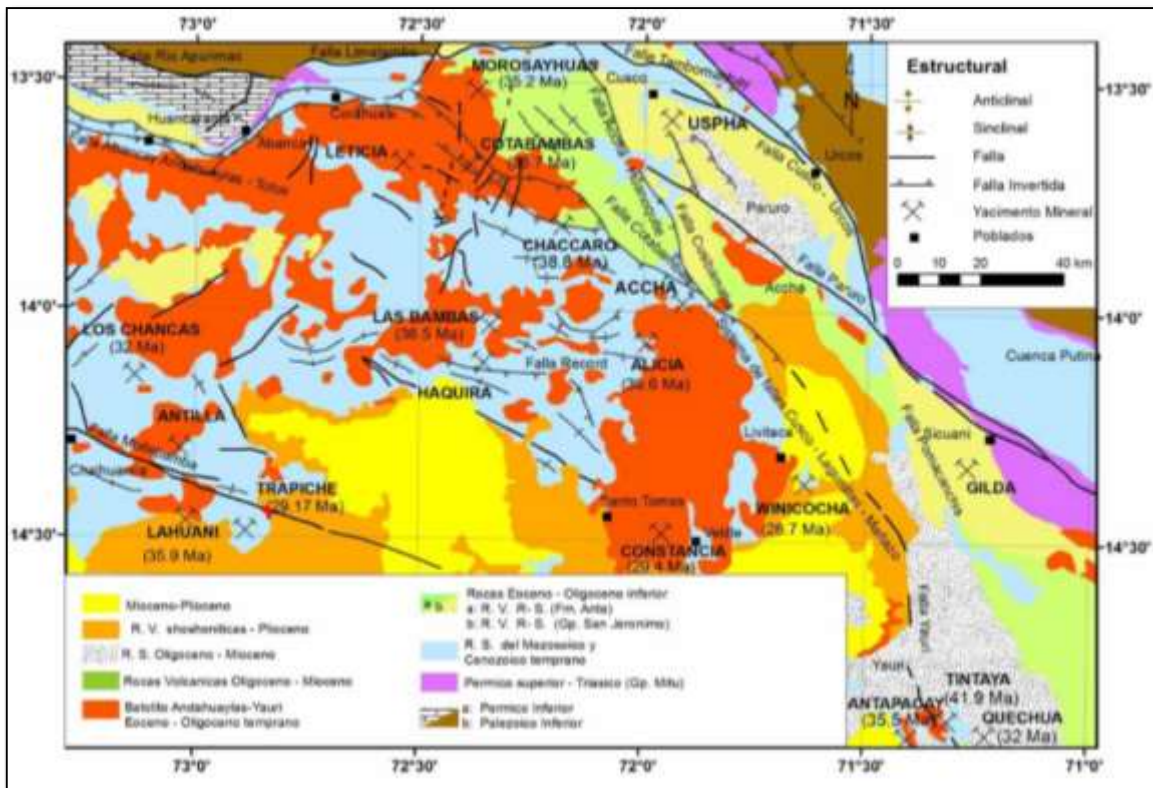


Fig. N° 6: Geología y yacimientos principales de la franja de pórfidos y skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno del Batolito Andahuaylas -Yauri. También se observa depósitos estratoligados de Cu de las Capas Rojas. Carlotto (1998), Perello et al (2003)

3.1.1. ESTRATIGRAFIA REGIONAL:

3.1.1.1. GRUPO YURA

Grupo tiene edad jurásico superior/inferior, se puede diferenciar 3 tipos de formaciones principales: formación gramadal, formación labra y formación cachios. Litológicamente comprende cuarcitas, lutitas y areniscas. Los yacimientos están distribuidos en una faja, ubicada al sur del eje Yarabamba a Puquina, cuya orientación sigue el patrón estructural de los Andes, es decir están orientados de Sureste a Noroeste.

3.1.1.2. FORMACION MURCO (Ki-mu)

Esta formación descrita por primera vez por Jenks, W. F. y Benavides, V. (1962) en el valle de Sigwas, también ha sido cartografiada por Dávila, D. (1994) en los cuadrángulos de Caylloma y Livitaca.

Litológicamente está constituida en su parte superior por una intercalación de limo arcillitas en estratos delgados centimétricos a sub-centimétricos con un espesor promedio de 80 m a 200m. En la parte media se observan intercalaciones de areniscas blanquecinas a rojizas en estratos delgados centimétricos con limo-areniscas y limo arcillitas.

Las exposiciones de la Formación Murco se manifiestan al límite NE del cuadrángulo de Velille, donde afloran al sur de la hacienda Chilloroya.

Su edad se infiere teniendo en cuenta su posición estratigráfica (Galdos, J., Segundo, H., 2012). Así, al descansar sobre la formación

Litológicamente la formación Murco, está constituida por sedimentos clásticos abigarrados pero mayormente rojizos, según su posición estratigráfica está sobre el grupo Yura y debajo de la formación Arcurquina.

3.1.1.3. FORMACION HUALLHUANI (Ki-hu)

Denominación dada por JENKS W. (1948) al oeste de la ciudad de Arequipa. Hay varios afloramientos cubiertos por secuencias litológicas más jóvenes, la mayor exposición se encuentra al Sur de la mina Tintaya en los cerros Ccatun Ccoime y Llatahua, otros afloramientos se localizan en el cerro Huamantata al este de Velille.

Esta unidad se encuentra perturbada por cuerpos intrusivos del Eoceno. Consiste principalmente de areniscas cuarzosas marrón amarillentas, de grano medio a grueso con clastos sub-redondeados de cuarcita. El poco valor cronológico de la flora encontrada por el INGEMMET (1995).

Es difícil estimar la potencia debido a que aflora conjuntamente con la Formación Arcurquina en una serie de sobrecorrimientos.

Se le correlaciona con la formación Soraya del grupo Yura en el departamento Apurímac.

3.1.1.4. FORMACION ARCURQUINA:

Esta denominación fue establecida por JENK, W. (1948) y ratificada por Benavides V. (1962) para la secuencia calcárea que sobreyace a la formación Murco al noroeste de Arequipa, pero por Abacay Maroco, R (1975) y Pecho, V. (1981) emplean el término Ferrobamba y para los cuadrángulos de Cusco y Livitaca, formación Arcurquina.

En el cuadrángulo de Velille, las relaciones estratigráficas de la formación Arcurquina con las secuencias subyacentes Formación Huallhuani se presentan en concordancia angular y el techo erosionado.

En el cuadrángulo de Livitaca suprayace con igual relación a la formación murco y al este de la mina tintaya sobreyace con igual relación a la Formación Huallhuani (Mendivil Echevarría & Davila Manrique, 19994)

Sedimentaria de edad cretáceo superior/inferior, compuesta calizas modulosas con intercalaciones de lutitas y margas. Por su resistencia a la erosión, forma picos altos como los cerros Arzapampa, Balconniyoc y Nanramoq'o.

3.1.1.5. GRUPO TACAZA

El término Volcánicos Tacaza, fue empleado por primera vez por JENKS, (1949), siendo publicado formalmente por NEWELL (1949), describiendo una gruesa acumulación de rocas volcánicas en las proximidades de la Mina Tacaza en el cuadrángulo de Lagunillas. El Grupo Tacaza ocupa una gran extensión en los cuadrángulos de Chivay, Condoroma, Ocuvi, Lagunillas y Pichacane. Descansa casi siempre en discordancia sobre rocas del Mesozoico o del Grupo Puno.

Como en muchas localidades no hay secciones completas, el espesor total es difícil de estimar. Se puede apreciar la variación general de 250 m. en el cuadrángulo de Juliaca a más de 1,900 m. en el valle del Colca. Este grupo generalmente tiene composición dacítica de color gris violáceo a verdoso, los fragmentos volcánicos tienen formas sub-redondeadas a sub-angulosas englobados en matriz piroclástica.

Sobreyacen en discordancia angular a las formaciones Anta y Arcurquina y subyace a las tobas y brechas del grupo Barroso. Las insuficientes dataciones radiométricas no permiten asignarle una edad precisa; sin embargo por posición estratigráfica se le indica una edad oligocena-miocénica.

3.1.1.6. GRUPO PUNO (P- pu)

Esta unidad originalmente fue establecida por Cabrera La Rosa y Pterson (1936), en los alrededores del lago Titicaca, posteriormente la estudiaron Newell (1945) y –Heim (1947), en los cuadrángulos de Cusco y Livitaca. El grupo puno se manifiesta al límite noreste del cuadrángulo de Livitaca, donde aflora en las localidades de Checcapucara, San Juan Ccoyani.

Su litología en la base representado por lutitas interestratificadas con areniscas abigarradas de grano medio, en capas delgadas y compactas; en algunos lugares se intercalan con conglomerados finos a medianos constituidos por clastos generalmente de cuarcitas.

3.1.1.7. FORMACION ANTA (Eoceno-Oligoceno)

Definida por Carlotto (1998) en la región de Cusco. Dataciones K-Ar obtenidas sobre coladas volcánicas intercaladas en su parte inferior media reportaron 38 Ma y cerca de su lecho 30 Ma, lo cual evidencia que es de edad eoceno medio-oligoceno inferior a la cuenca Yauri, la formación consiste de conglomerados que fueron depositados en conos aluviales, ríos proximales, canales y barras longitudinales de ríos y de areniscas, pelitas y limolitas que se depositaron en ríos entrelazados

fluviales y llanuras de inundación asociadas. Las paleo-corrientes disponibles (Latorre & Oros, 2000) sugieren que el drenaje principal estaba orientado de noroeste al sureste. La formación Anta se puede dividir en una unidad inferior grano-creciente y una unidad superior grano y estrato decreciente. La unidad inferior (1300 m) comprende de conglomerados y areniscas. La unidad superior (758 m) consiste de conglomerados de conos aluviales y ríos proximales, areniscas fluviales y pelitas de llanura de inundación.

3.1.2. ROCAS INTRUSIVAS:

Las rocas plutónicas de esta región constituyen el batolito Andahuaylas Yauri y están representadas principalmente por grandes cuerpos de granodiorita, tonalita y diorita, que a su vez han sido instruidas por rocas hipo abisales de composición andesítica monzonítica, con la que esta mayormente asociada la mineralización.

Los contactos entre los grandes cuerpos son poco perceptibles en el campo, y ciertos lugares es difícil de marcar un contacto entre ellos, especialmente entre la granodiorita, tonalita y entre esta la diorita.

3.1.2.1. BATOLITO ANDAHUAYLAS – YAURI

El borde nororiental de la cordillera occidental presenta externos cuerpos de rocas intrusivas colectivamente conocidas como el batolito Andahuaylas – Yauri (el et de Carlier el at. 1989; Bohomme y carlier, 1990). El nombre del batolito Andahuaylas Yauri se usa en este estudio, siguiendo Bonhomme y carlier (1990). El batolito está compuesto de una multitud de intrusivos que afloran discontinuamente entre los pueblos de Andahuaylas al noreste y Yauri en el sureste. Su anchura varía entre ~ 25 km en el área de Tintaya y ~ 130 km a lo largo de Challhuanca – Abancay.

El batolito incluye las acumulaciones de intrusiones de etapa temprana (gabro, troctolita gabro de olivino, gabrodioritas y dioritas seguida por las rocas de composición intermedia (monzodioritas, cuarzodioritas, monzodiorita de cuarzo y granodioritas) (Bonhomme y Carlier 1990; Carloto 1998). Rocas su volcánicas principalmente de composición granodiorítica / dacítica, localmente asociadas con mineralización del tipo pórfido, representan la etapa terminal.

3.1.2.1.1. PLUTON COLQUEMARCA (PN-co-co/to)

Son afloramientos que cubren casi el 50% del cuadrángulo de Livitaca y se prolonga por grandes extensiones hacia los cuadrángulos vecinos o aun fuera de ellos.

Esencialmente este cuerpo batolítico puede ser clasificado como granodiorítico – tonalítico, por ser esta la composición preponderante, pero existen lugares donde hay cambios graduales bien marcados hacia una mayor acidez o basicidad.

3.1.2.1.2. PLUTON PISUROPATA (PN-co-pi/to)

Este Plutón difiere notablemente de cuerpo ígneo anterior y su exposición más conspicua se halla al sureste del cuadrángulo de Livitaca. Está representado por cuerpos más básicos (dioritas, monzodioritas y tonalitas)

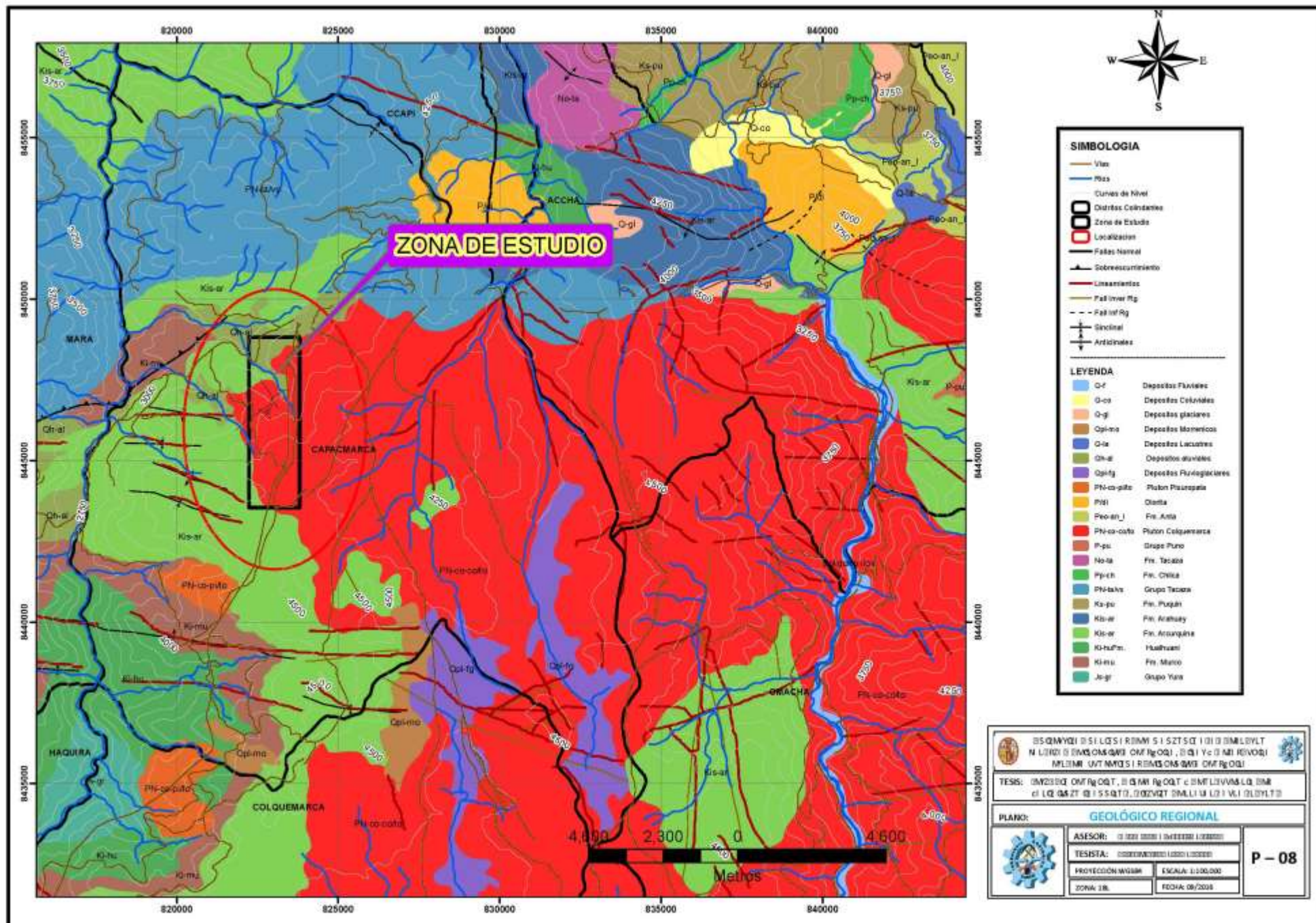
3.1.2.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS:

Los depósitos cuaternarios constituyen el material de cobertura generalmente no consolidado distribuido irregularmente en la zona de estudio. Tales depósitos se han acumulado esencialmente como resultados de depósitos fluviales, depósitos morrénicos, fluviales y etc.

3.1.2.2.1. DEPOSITOS ALUVIALES

A través del área mapeada en valles, depresiones y llanuras, se observan depósitos aluviales. Comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos, pueden distinguirse perfectamente, pudiendo ser mapeados separadamente, pero en los valles pequeños y de áreas con tierras levantadas, son generalmente indiferenciables.

Las llanuras aluviales del altiplano consisten predominantemente de arenas bien clasificadas derivadas en parte de los retrabajamientos de depósitos lacustrinos antiguos. En las áreas de tierra alta muchos de estos materiales aluviales han sido derivados del retrabajamiento de detritos glaciares de morrena y de fluvioglaciares de bloques de grava inconsolidados y de grava de canto que han rellenado muchos de los valles. En muchos de los principales valles se tienen evidencias de erosión reciente. Así como de depósitos aluviales más viejos que están preservados, formando una serie de terrazas levantadas.



3.2. GEOLOGIA LOCAL:

En la zona de trabajo se ha realizado un cartografiado de las unidades litoestratigraficas aflorantes, la mayor parte de área asta cubierta por material cuaternario y la mayoría de los afloramientos son intrusivos del Batolito Andahuaylas –Yauri de composición diorítica y en menor cantidad granodiorita y monzodioritas, además de pequeños diques de pórfidos de composición andesitica, se aprecia de manera muy dispersos afloramientos de caliza gris a gris azulada.

Esta información recopilada ayudo a realizar interpretaciones de solo litologías; es decir sin considerar el material cuaternario el cual nos arrojó patrones establecidos en el comportamiento de los intrusivos y de las rocas sedimentarias así como de las alteraciones metasomáticas.

3.2.1. ESTRATIGRAFÍA LOCAL:

Las unidades que afloran en la zona de estudio del yacimiento Imanniyoc corresponden al Cretáceo inferior/superior, terciario y depósitos del cuaternario, diferenciándose las siguientes formaciones:



Foto N° 8: Zona de estudio, delimitado con la litología.

ERA	SISTEMA	UNIDADES	SERIE LITOESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION LITOESTRATIGRAFICA
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Bofedales 	Sedimentación en un ambiente subacuoso con vegetación abundante que aflora en regiones altas y lagunas.
			Depósitos Coluviales 	Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa.
			Depósitos Aluviales 	Componentes clásticos milimétricos a centimétricos, polimícticos. Afloran rellenando cuencas hidrográficas actuales.
			Depósitos Morrénicos 	Sedimentos de componentes líticos hasta más de 1 m, con matriz arenosa milimétrico a subcentimétrico.
		Pleistoceno	Formación Santo Tomás 	Lavas gris oscuro afaníticas de composición traquiandesíticas con estructuras columnar visible.
	NEÓGENO	Plioceno	Grupo Barroso 	Complejo volcánico Vilcarani: Secuencias de tobas medianamente soldadas intercaladas con estratos de tobas lapilli con cenizas, biotita y líticos, un último evento tobaceo soldado. Estas tobas son de composición, riodacítica de color blanquecino.
		Mioceno	Formación Alfabamba 	Secuencia piro clástica con matriz tobacea, pómez, líticos.
	PALEÓGENO	Oligocena	Brecha Tacaza { Lava Brecha 	Secuencia de brechas lavas alteradas, presenta coloraciones verdosas.
		Eocena		
		Paleocena		
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Formación Arcurquina {   	Secuencias de estratos métricos calizas micríticas. Secuencias de calizas de estratos submétricos intercalados con niveles pelíticos y estratos de calizas micríticas y centimétricas. Secuencias de calizas micríticas masivas.
		Inferior	Formación Murco  Formación Huallhuani 	Hacia la base intercalación de arenas pardo rojizas con limoarenas y lutitas. En la parte media estratos submétricos de areniscas cuarzosas. En la parte superior intercalación de areniscas, limoarcillas y limoareniscas rojizas. Arenas cuarzosas blancas en estratos métricos, grano medio.
	JURASICO	Superior	GRUPO YURA { Formación Gramadal  Formación Labra 	Lutitas, areniscas gris oscuro. Al medio calizas hasta de 7 metros de grosor, al tope lutitas, areniscas y niveles carbonatados restringidos. Arenas cuarzofeldespáticas en estratos milimétricos a centimétricos intercalados con arenas cuarzosas blanquesinas, limoarenas, lutitas y un nivel delgado de calizas (5m).

FIG. N° 7: columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomas 29r. INGEMMET

3.2.1.1. ROCAS SEDIMENTARIAS:

3.2.1.1.1. FORMACION ARCURQUINA (Ciz)

Aflora en la parte central sur de la zona de estudio; son calizas micriticas de color gris y gris azulado, presentan venilleos de calcita a entrecruzados; difícilmente se aprecian lineamientos de estratificación, cercanas a la zona se aprecian afloramientos aislados de calizas como calizas colgadas sobre afloramientos dioricos o rodeado de material cubierto.



Foto N° 9: Afloramiento de calizas.

3.2.1.2. ROCAS INTRUSIVAS:

Las rocas intrusivas que se lograron identificar en el yacimiento Imanniyog forman parte del batolito Andahuaylas – Yauri, el cual presenta 2 etapas intrusivas, la primera etapa de composición máfica, presentando fragmentos de diorita dentro de una brecha hidrotermal, o como bloques remanentes controlados por sistemas de fallas; la segunda etapa, es más félsica, evidenciándose como una serie de plutones y stocks porfiríticos que fueron evolucionando en textura desde equigranular a porfirítica con matriz microcristalina, y en grado de diferenciación desde composición cuarzomonzodiorítica hasta granodiorita; localmente se identificaron los intrusivos dioríticos, monzodioríticos y cuarzomonzodioríticos.

3.2.1.2.1. DIORITA (Dt):

Se presenta como cuerpos de intrusivos pertenecientes a la fase máfica del batolito Andahuaylas – Yauri.

Se presenta como una roca fanerítica de grano medio, mesocráta que tiene entre 35 – 40% de minerales máficos, su textura es grananular cuyos componentes principales son: plagioclasa Ca - Na y hornblenda; se puede evidenciar la alteración potásica moderada, manifestada por la alteración de plagioclasas a epidota y calcita.

Se pudo identificar importantes afloramientos dioríticos que cubren aproximadamente el 40% del área total de estudio, macroscópicamente son de coloración gris oscura presentando en algunas partes coloración clara, debido a su exposición al intemperismo y alteración supergena, presentando una textura granular que varían de grano fino a medio. (Ver foto N°: 10)

La composición mineralógica macroscópica de las dioritas se realizó a través de una apreciación visual utilizando la tabla QAFP, compuesta generalmente de dos tercios de plagioclasa y un tercio de minerales oscuros como hornblenda, biotita y a veces piroxeno.

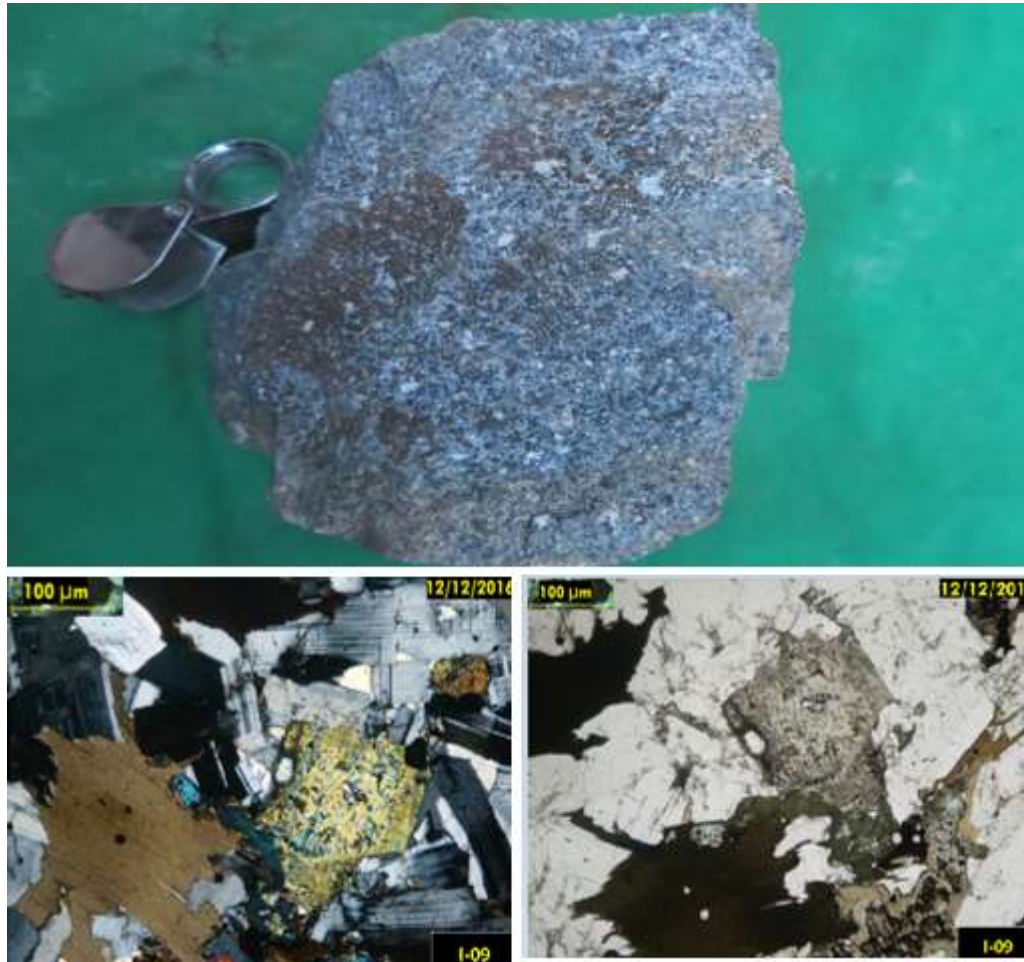


Foto N° 10: diorita con biotita, anfíbol (como minerales máficos), plagioclasa y algo de cuarzo intersticial (como minerales félsicos). En la fotografía con NC (izquierda) podemos observar los altos colores de birrefringencia del clinopiroxeno, el maclado polisintético de la plagioclasa y los pequeños cristales de cuarzo intersticial. En el extremo derecho (NP) la biotita aparece con un color marrón oscuro con inclusiones de pequeños cristales de apatito, el anfíbol, más escaso, presenta color verde y está en el borde inferior del clinopiroxeno, que destaca por su mayor relieve.

3.2.1.2.2. MONZODIORITA (Mzd):

La mayor parte de la zona de estudio está constituido por afloramientos monzodioríticos intuyendo a los cuerpos de diorita.

El intrusivo se presenta de coloración grisácea, conformado por feldespato > plagioclasas con cantidades menores a 60%, cuarzo 5% y minerales máficos de 15 – 20%. (Ver foto N° 11).

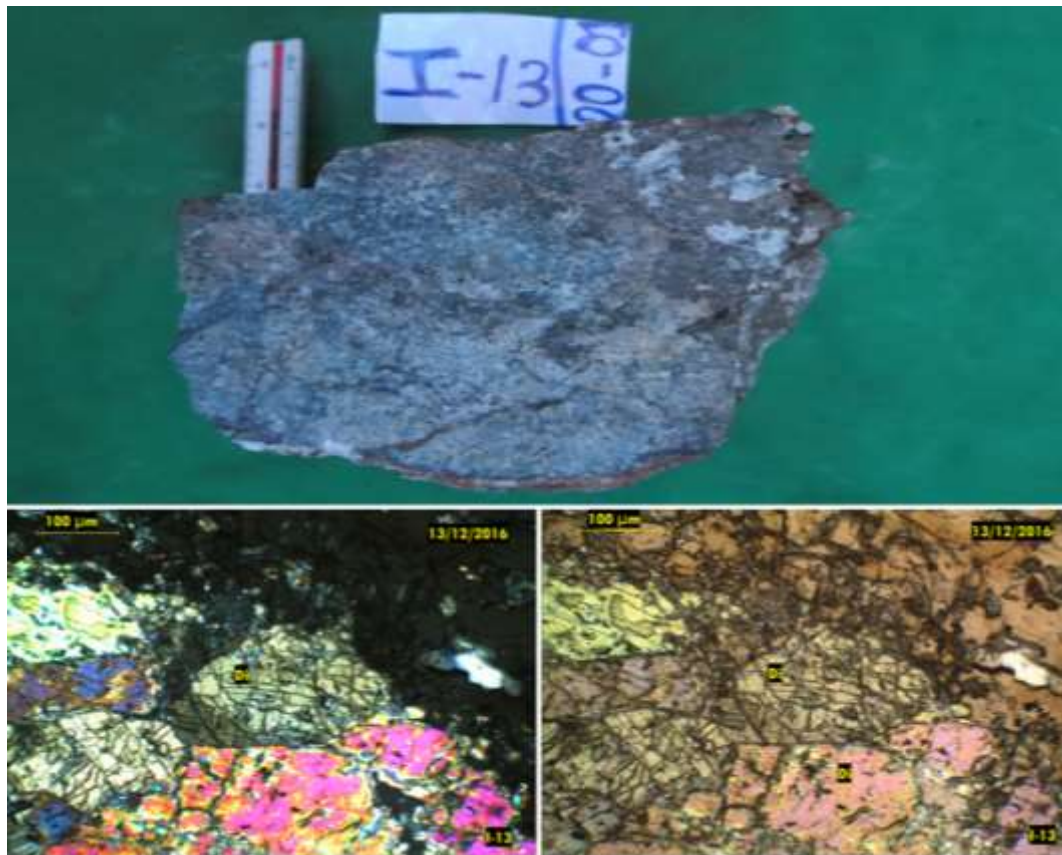


Foto N° 11: Monzodiorita de hornblenda (Hn) - banda de endoskarn de diopsida (Di). NC (izquierda) Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos, NP (derecha) Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos.

3.2.1.2.3. CUARZOMONZODIORITA (Q-Mzd):

En la zona de estudio también existe la presencia de esta roca plutónica con cierta semejanza a la monzodiorita, lo único que los diferencia es la cantidad de cuarzo.

El intrusivo se presenta de coloración grisácea, conformado por feldespato > plagioclasas con cantidades menores a 60%, cuarzo > 5% y minerales máficos de 15 – 20%. (Ver foto N° 12).



Foto N° 12: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda. NC (Izquierda). Hornblenda (Hn) fuertemente alterada a clorita y plagioclasa (Pg) tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla y ortoclasa (Or) anhedral e intersticial. NP (Derecha). Hornblenda fuertemente alterada a clorita (verde) y plagioclasa tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla (rosado) y ortoclasa anhedral, fresca e intersticial. Epidota (Ep) verde amarillento en alto relieve.

3.2.1.3. CUATERNARIO:

3.2.1.3.1. ALUVIALES (Q- Al):

Se encuentra preferencialmente en los lugares semi-planos o pampas circunscritas por lomadas y en las partes correspondientes al fondo de los valles o ampliaciones debido a su conjunción, dando lugar a llanuras aluviales.

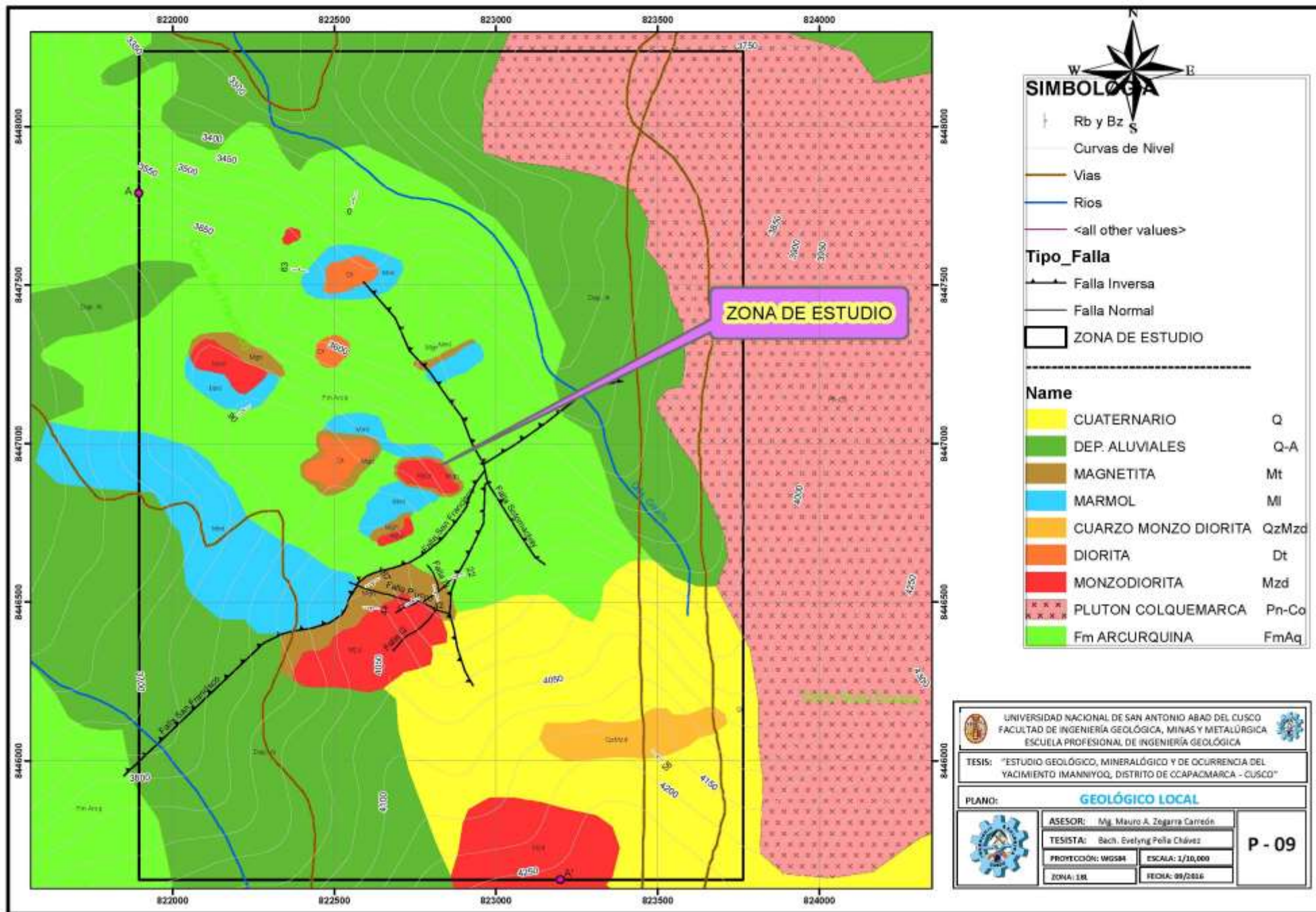
El material aluvial se halla en los cauces antiguos, recientes y en las laderas de los valles, quebradas, formando respectivamente terrazas y conos aluviales.

Algunas terrazas se encuentran a más de 150 m sobre el nivel de los cauces de los ríos actuales, como consecuencia del levantamiento reciente de los Andes. Ejemplos de estas terrazas se ve en el rio San Francisco, próximos a la zona de estudio.

Los depósitos aluviales están constituidos mayormente por gravas cantos y otros de elementos redondeados y angulosos, dentro de una matriz areno- arcillosa, presentan una grosera estratificación que se acuña entre capas de arena y arcillas. El grosor de estos depósitos varía desde unos cuantos metros a más de 150 m.

3.2.1.3.2. FLUVIALES (Q-FL):

Los depósitos fluviales se encuentran restringidos al fondo de los valles y están compuestos principalmente por gravas y arenas no muy bien estratificadas con limos y arcillas lenticulares. Su grosos es variable y la naturaleza de sus elementos es muy heterogénea.



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO, MINERALOGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO IMANNIYOQ, DISTRITO DE CCAPACMARCA - CUSCO"		
PLANO: GEOLOGICO LOCAL		
	ASESOR: Mg. Mauro A. Zagarra Carrion TESISITA: Bach. Evelyn Pella Chavez PROYECCION: WGS84 ZONA: 18E	ESCALA: 1/10,000 FECHA: 09/2022
		P - 09

CAPITULO IV

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL Y LOCAL

4.1. MARCO TECTONICO REGIONAL

A escala regional Ramos (1999) indica que los andes de sur del Perú se han formado por la unión de varios bloques de corteza producto de la subducción de la placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, al final de la era Mesozoica a finales del Cretácico tardío y agrega Carlotto (2007) que existe alta probabilidad de encontrar yacimientos metálicos en los bloques acrecentados controlados por estructuras tectónicas regionales.

En la era cenozoica las grandes fallas normales del Perú desempeñaron el papel de fallas inversas y de rumbo, generando el levantamiento del borde norte de la cuenca occidental y controlando el emplazamiento de los cuerpos batolíticos. (Ramos, 1999).

Estructuralmente se encuentra ubicado dentro de la unidad morfoestructural de la Cordillera Occidental, en el extremo NE del batolito Andahuaylas – Yauri que hospeda yacimientos metalogenéticamente ubicado en la franja XV perteneciente a Pórfidos – Skarn de Cu–Mo (Au, Zn) y depósitos e Cu–Au–Fe relacionados con intrusivos del Eoceno medio – Oligoceno temprano (~ 30 – 42 Ma). (Ver Fig. N° 6 y planos P-12 y P-13).

afloramientos más occidentales tienden a constituir el grueso de Batolito (macizos de hasta 70 Km de diámetro), mientras que hacia el SE la unidad se manifiesta como un rosario de cuerpos menores, de unos 10 Km de diámetro en promedio.

El Batolito está compuesto por varias unidades cartografiables de rocas intrusivas que tienden a concentrarse en 2 grupos mayores:

- Un grupo gabro, diorita y cuarzo - Diorita que constituye el 80% del batolito
- Un grupo de menor distribución, dominado por granodiorita, stocks menores de dacita, diorita y diques de micro diorita.

Relaciones de campo indican que en general las facies del primer grupo siempre son más antiguas que las del segundo, lo que en parte ha sido confirmado mediante dataciones radiométricas (Carlotto, 1998). Los gabros están representados por troctolita, gabro de Olivino y Gabronorita en la región de Curahuasi, al Oeste de Cotabambas, como también en la zona de Tintaya. Las facies más félsicas granodioríticas y tonalíticas se distribuyen irregularmente en toda la región.



Fig. N° 9: Mapa metalogenético del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFII: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: Sistema de Fallas Cincha-LLuta. SFI: Sistema de Fallas Icapuquio. SFCC: Sistema de Fallas Caylloma-Condoroma. SFCLM: Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. SFUSA: Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. DGNO: Dominio Geotectónico Nazca-Ocoña, DGCLI: Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo, DGPCI: Dominio Geotectónico Puquio-Caylloma-Incapuquio, DGAC: Dominio Geotectónico Abancay-Condoroma, DGCLM: Dominio Geotectónico Cusco-Lagunillas-Mañazo y DGUSA: Dominio Geotectónico Urcos-Sicuani-Ayaviri.

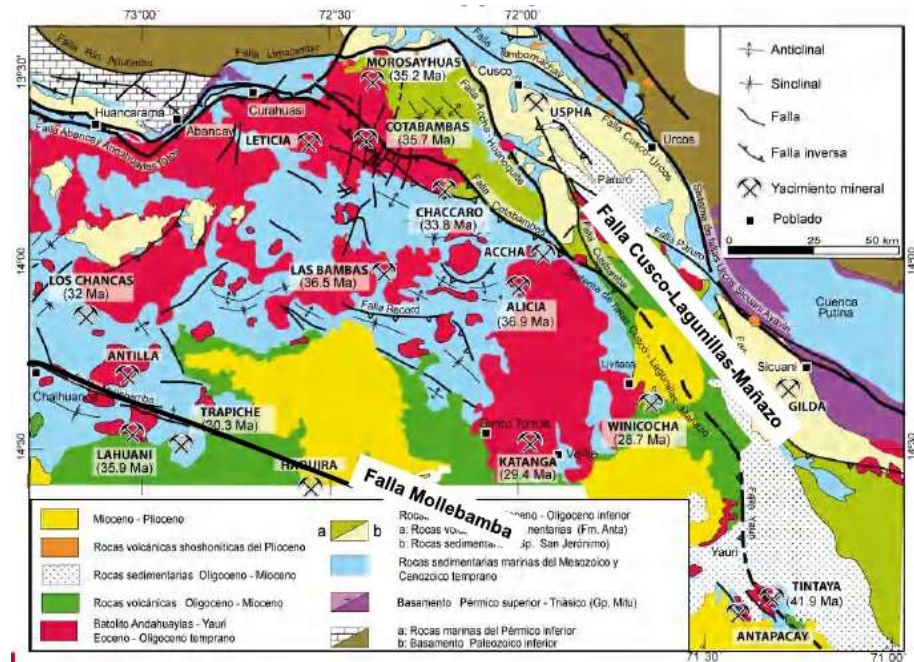


Fig. N° 10: franja metalogenética de pórfidos de Skarn de Cu – (Au, Zn) y Fe relacionados con intrusivos del Eoceno – Oligoceno 42 – 30 Ma; diferenciación de fallas importantes. Carlotto et al (2009).

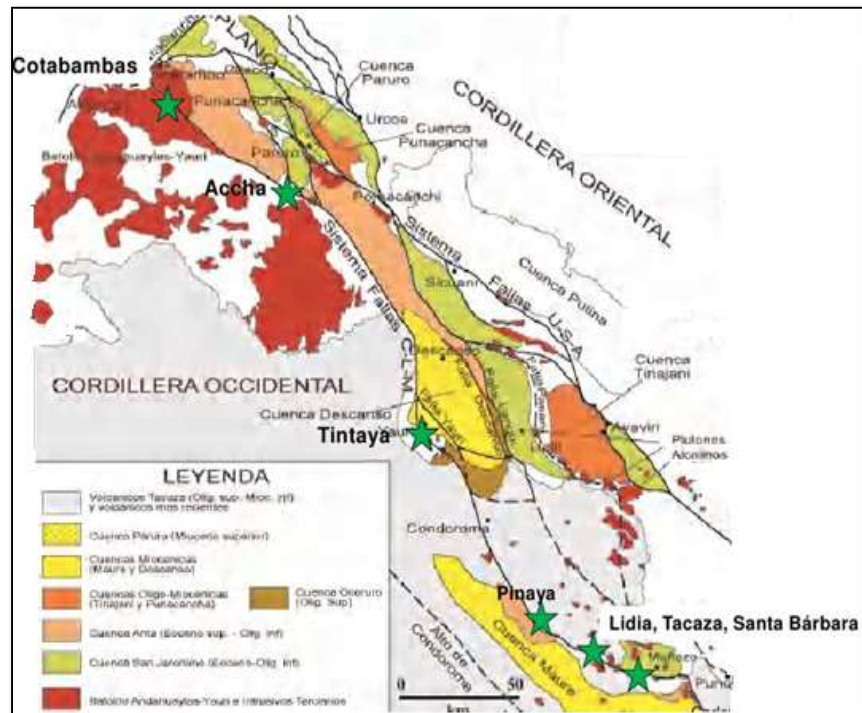


FIG. N° 11: Sistema de fallas Cusco- Lagunillas mañazo.

4.1.1. DOMINIO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

Este dominio morfoestructural está separada de la cordillera Oriental por los sistemas de fallas NO – SE de Abancay – Andahuaylas – Totos a su vez se separa del Altiplano occidental por los sistemas de fallas Cusco – Lagunillas – Mañazo.

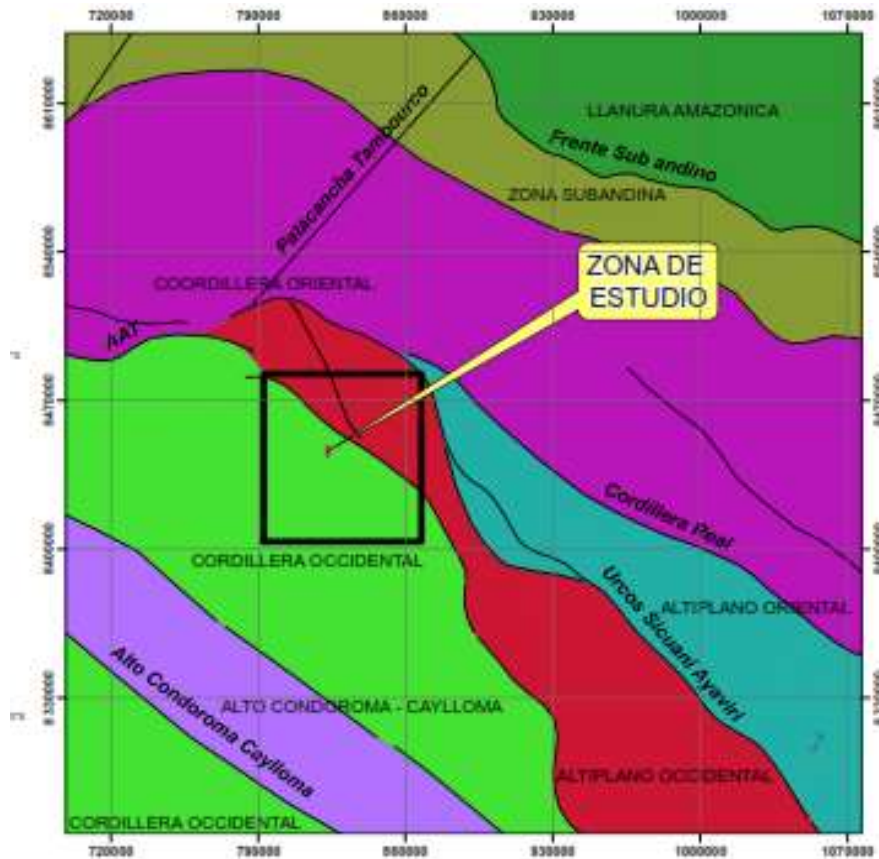


Fig. N° 12: Ilustración esquemática de la zona de estudio dentro del dominio morfoestructural perteneciente a la cordillera occidental. Propia (2016).

Los rasgos estructurales más resaltantes que generaron el emplazamiento de la mineralización fueron estructuras de tipo fallas y plegamientos que está caracterizado con una orientación NW-SE (dirección andina), tales estructuras evidencian los eventos tectónicos ocurridos a su vez podemos distinguir el grado de intensidad de deformación; distinguiéndose 3 fases o zonas:

- **ZONA NO DEFORMADA:**

Conformado por rocas volcánicas post – orogénicas (grupo Barroso) y depósitos cuaternarios los cuales no sufrieron mayores perturbaciones; estas rocas volcánicas presentan una leve inclinación con estratificación horizontal también se puede distinguir ondulaciones como efectos del levantamiento de la cordillera Andina (Plio – Cuaternario); en la parte superficial de las lavas del grupo Barroso se observa fracturas tensionales generados por enfriamientos de lavas.

- **ZONA DEL BATOLITO ANDAHUAYLAS YAURI**

Los plutones del Batolito Andahuaylas – Yauri primero fueron deformados por eventos tectónicos antiguos, seguidamente generan cuerpos intrusivos que metamorfizan a las formaciones del terciario inferior y Mesozoicas; las rocas hipoabisales afectan a las formaciones del terciario superior (Oligomiocenas) y son consideradas como las últimas pulsaciones del magmatismo por lo que son asociadas con la mineralización de la región. La mayor parte de estas intrusiones presentan la dirección del modelo estructural andino (NW- SE) también puede distinguirse las que tienden al Este.

- **ZONA AFECTADA POR LA OROGÉNESIS ANDINA**

En el cuadrángulo Cusco (28s), Santo tomas (29r) y Livitaca (29s) esta zona representa aproximadamente el 40 – 50 %; los principales rasgos estructurales que se evidencia es producto de las 2 últimas fases más intensas de la Orogenia Andina (Fase Inca y Fase Quechua) permitiendo que los lineamientos presenten o sigan el modelo estructural Andino (NW – SE) también se puede presentar estructuras con menor magnitud con tendencias al E – W y NNE – SSW.

En esta zona se puede diferenciar 2 estructuras de patrón andino y estructuras no andinas.

Los pliegues son estructuras que generalmente prevalecen en rocas sedimentarias como se da en las formaciones Murco y Arcurquina cuyos ejes se presentan con una orientación NW – SE y N – S, también se evidencia gran cantidad de fallas las que presentan planos axiales verticales y orientaciones paralelas o similares a los pliegues.

Las fallas y lineamiento presentan el rumbo andino NW – SE afectan las unidades Mesozoicas y terciarias, estas fallas tienen anchos variables y se caracterizan por presentar espejos, brechas de falla y zonas con bastante yeso. La evolución tectónica ígnea y sedimentológica se infiere que estuvo relacionada con la fase principal del levantamiento andino Peruano – Chileno del Eoceno superior (fase inca 43 – 40 Ma).

4.1.3. FORMACIÓN DE LOS ANDES

La cordillera de los andes se formó por la colisión de la placa de Nasca y la placa sudamericana en el borde oeste; deformándose progresivamente en el tiempo por efecto de la diferentes eventos tectónicos cuyos esfuerzos estuvieron confinados al volumen de litosfera comprendida entre la fosa Peruana – Chilena al oeste y el escudo Brasileño.

La base de la litosfera en la raíz de los Andes es deducida de perfiles simicos, esta presenta una estructura arqueada cóncava, deformada por efectos de la aplicación de esfuerzos tectónicos progresivos y por el peso litosferico. Se hunde en las rocas liquidas del Manto superior produciendo importante engrosamiento litosferico de 200 km de espesor; mientras que la superficie de los andes se levanta como máximo 7 kilómetros sobre el nivel del mar (6768 msnm en el Huascaran); se podría comparar la deformación andina con un iceberg, generando que la litosfera se sumerge dentro de las rocas liquidas del manto superior, mostrando de esta manera la cordillera de los andes como pequeñas elevaciones continentales con respecto a la masa hundida. (Dalmayrac, 1998)

4.1.4. EVENTOS TECTONICOS

- **TECTÓNICA HERCINIANA:**

Las fases Eoherciniana, está marcada, por la discordancia existente entre rocas del Paleozoico superior (grupo Cabanillas, Grupo ambo, Tarma y Copacabana) sobre rocas del Paleozoico inferior, que se encuentran fuertemente plegado.

Durante la fase tardiherciniana, esta se manifestó como una tectónica compresiva que afectaron a rocas del Permo- Carbonífero (Grupo Ambo, Tarma y Copacabana produciendo fuertes plegamientos).

- **TECTÓNICA ANDINA:**

Durante el Meso-Cenozoico, se desarrolló el ciclo andino (Steiman, 1929) y estuvo caracterizada por presentar 2 periodos, el primero se desarrolló durante el triásico medio hasta el cretácico superior, la cual estuvo marcada por un periodo de hundimiento, desarrollándose una sedimentación marina, continental o vulcano—Sedimentaria, según las diferentes épocas y lugares.

El segundo periodo, estuvo marcada por un periodo principalmente compresivo, comprendiendo una sucesión diferentes fases de deformación, dando como resultado la consolidación y la actual fisonomía de la cordillera de los andes. Este segundo periodo comprende desde el cretácico superior y continuo hasta la actualidad. Según (Steinmann, 1929), reconoce 3 fases principales: fase Peruana, incaica y quechua.

- **FASE PERUANA**

La fase peruana del cretácico superior se produce amplios plegamientos regionales, fallamientos e intensos fracturamientos; en el sector occidental de la margen Peruana. Durante este periodo que

se tiene la presencia de sedimentos rojos finos continentales, (formación Muñani, Cotacuchos), lo cual sugiere que durante esta facie se produjo un levantamiento de la faja Orogénica (Zona aportes), pero que no estaba particularmente elevada.

- **FASE INCAICA**

La fase incaica, (Eoceno inferior- Oligoceno inferior) esta segunda fase de deformación, según Steinmann, fue la más importante durante el ciclo andino, en la zona está marcada por la presencia de depósitos continentales rojizos, a la consecuencia de levantamientos importantes de las zonas de aportes, es que se tienen niveles conglomeradicos.

Este evento compresivo ocurre entre fines del Oligoceno y comienzos del Mioceno, con una reactivación de estructuras de fallas profundas dando como origen a magmatismos extrusivos e intrusivos como del Grupo Tacaza la cual es asociado a cuerpos sub-volcánicos portadora de soluciones mineralizantes (J.Caldas, 1993).

- **FASE QUECHUA**

La fase quechua, terciario superior (Oligo-Mioceno), se caracteriza por ser fase especialmente compresiva, produciendo grandes plegamientos y reactivación de fallas, en la zona de estudio aflora el intrusivo Batolito diorítico. Y se considera en esta fase ocurrieron las ultimas pulsaciones del magmatismo y podrían estar asociadas por la mineralización de nuestra zona.

4.1.5. PLEGAMIENTOS:

Las rocas intrusivas aparte del intenso diaclasamiento es y cizallamiento, no presentan mayores indicios de deformación, el rumbo general predominante observado de las fallas y diaclasamientos es aproximadamente NW – SE. El emplazamiento de las rocas sub

volcánicas se da a manera de “Diques y Sills” y están controladas principalmente por fallas y fracturas de origen andino.

4.1.6. CORREDOR ESTRUCTURAL:

El conjunto abarca gran parte del tiempo geológico. La cual se inicia a fines del Pre- Cambriano y/o inicios del Paleozoico (Tectónica Hercinica); definiéndose como sistemas de fracturas que comprometen a los controles estructurales, con rumbos NW – SE, cabe indicar que al E existe sistemas estructurales de orientación NE-SW condicionados por la Deflexión de Abancay, que es un accidente tectónico muy resaltante.

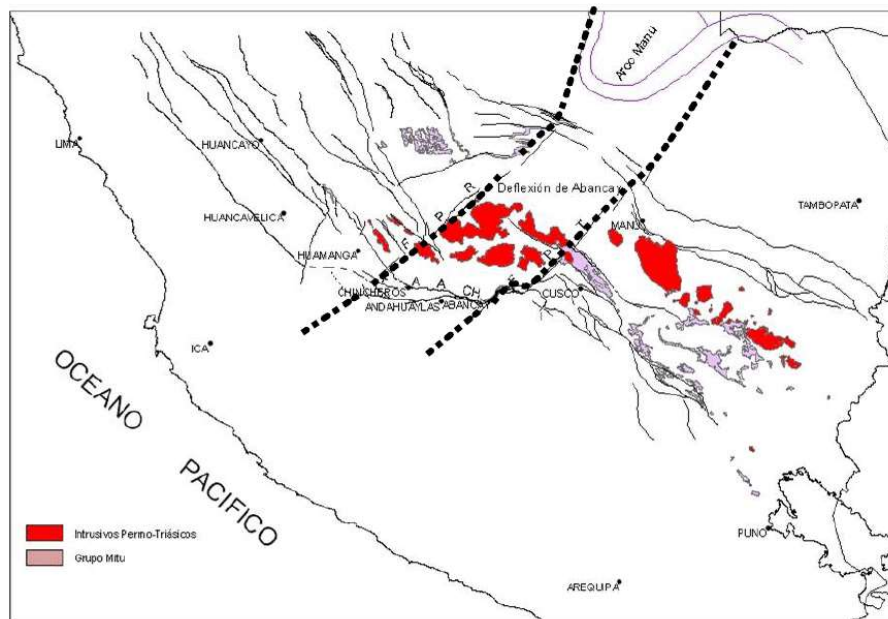
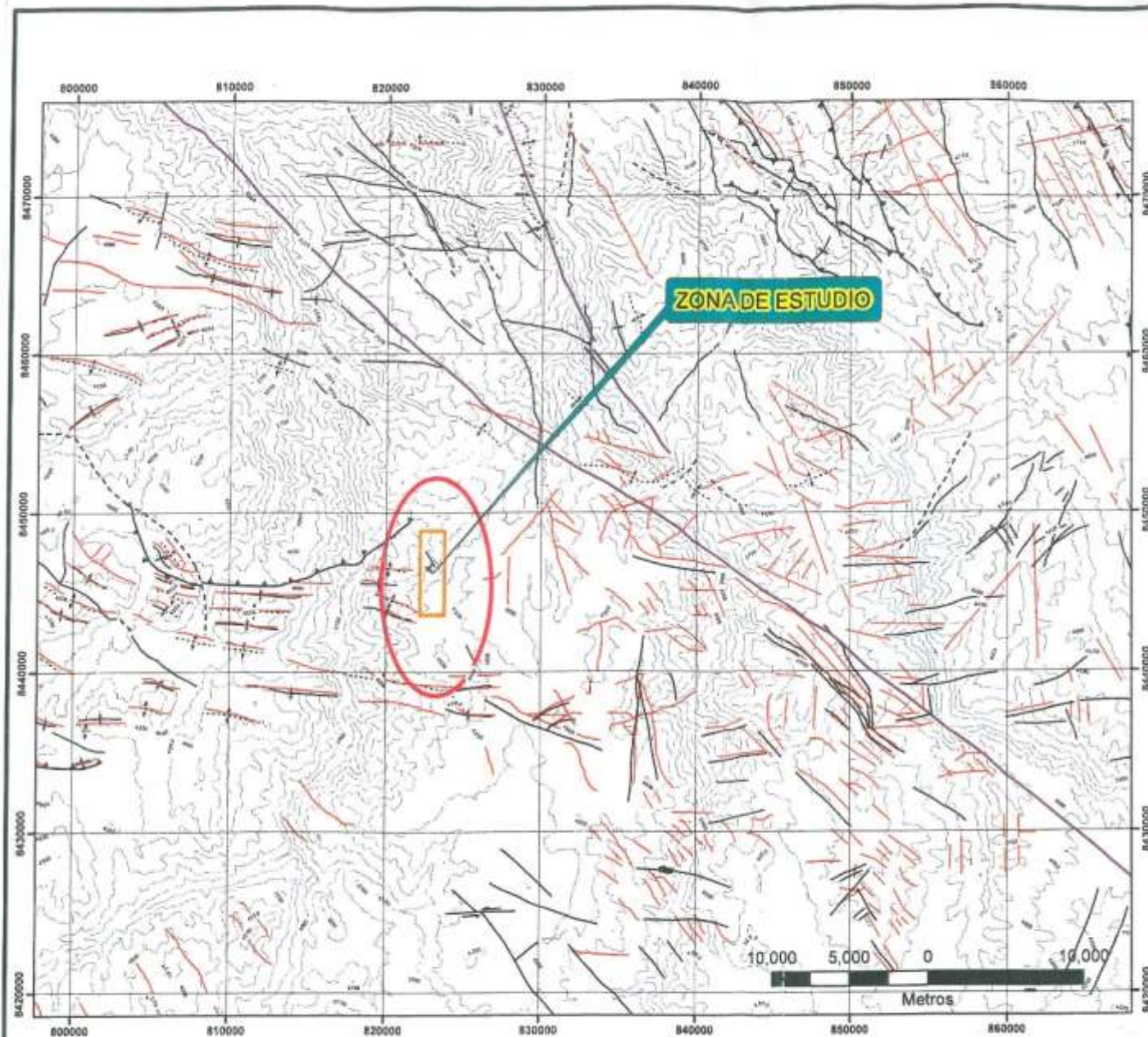


FIG. N° 13: Deflexión de Abancay. Carlotto el at (2005).



SIMBOLOGIA

-  Zona de Estudio
-  Localizacion
-  Curvas de Nivel
-  Lineamientos
-  Dominio Geotectonicos
-  Sobrescurrimientos
-  Fallas Normales
-  Fallas Inferidas
-  Sinclinal
-  Anticlinales

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO, MINERALOGICO Y DE OCURRENCIA DEL YACIMIENTO IMANIYOC, DISTRITO DE CCAAPACMARCA - CUSCO"		
PLANO: ESTRUCTURAL REGIONAL		
	ASESOR: Mg. Mauro A. Zegarra Carrón TESISITA: Bach. Evelyn Peña Chávez PROYECCION: WGS84 ZONA: 18L	ESCALA: 1:250,00 FECHA: 09/2018
		P - 10

CUSCO-PERU
2016

4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El yacimiento en estudio se encuentra en una zona que fue afectado por diferentes eventos tectónicos y presentar diferentes rasgos de la orogenia andina principalmente; se tiene la evidencia de los emplazamientos de plutones y como se dio el comportamiento de las rocas sedimentarias, los cuales generaron alteraciones producto de ello se tiene la mineralización y desplazamientos que ocurrieron quedando como rasgos en el relieve actual.

Las principales estructuras que se puede observar en la zona son:

4.2.3. FALLAS LOCALES:

La zona de estudio está configurado por un anticlinorio local de rumbo aproximado NW – SE comprendido entre el cerro Imanniyoc y Huayhua este anticlinorio se encuentra fallado a lo largo de su eje a manera normal y buza al S60°E afectando principalmente a la formación Arcurquina. Se ha observado que las fallas en los anticlinales no tienen continuidad en los afloramientos rocosos intrusivos de ahí se puede deducir que el tectonismo antecedería al emplazamiento de los pulsos magmáticos.

Localmente se presenta 2 sistemas principales de fallas con orientaciones NW –SE (falla Sotomachay) y NE – SW (falla San Francisco); la falla Sotomachay posiblemente se comportó como falla normal durante la sedimentación Mesozoica y tuvo un comportamiento inverso entre el Eoceno y Oligoceno (orogenia incaica), mientras que la falla San Francisco posiblemente se formó en el Paleoceno y controló el emplazamiento de los intrusivos durante el Eoceno y Oligoceno; también se podría suponer la presencia del eje del anticlinal podría afectar a la zona de estudio generando algunas fallas inferidas; de esta

manera se puede deducir que el tectonismo antecedería al emplazamiento de los pulsos magmáticos.

4.2.3.1. FALLA SAN FRANCISCO:

Es una falla inversa que posiblemente se formó en el Paleoceno y controló el emplazamiento de los intrusivos durante el Eoceno y Oligoceno, a esta falla se le atribuye la mineralización ya que presenta gran proporción de mineralización, falla que presenta una orientación NE – SW con un rumbo de S 40° W y buzamiento de S 70° E.



Foto N° 13: Vista de falla San Francisco con orientación NE - SW

4.2.3.2. FALLA SOTOMACHAY:

Esta falla posiblemente se comportó como falla normal durante la sedimentación Mesozoica y tuvo un comportamiento inverso entre el Eoceno y Oligoceno (orogenia incaica), por lo que es importancia donde también se le atribuye la mineralización; falla que se extiende a lo largo de la quebrada de san francisco con orientación NW – SE cuyo Rumbo es de S70°E y buzamiento de S22° W.



Foto N° 14: Vista de falla Sotomachay falla que presenta una orientación NW - SE

4.2.3.3. FALLA MACHAY

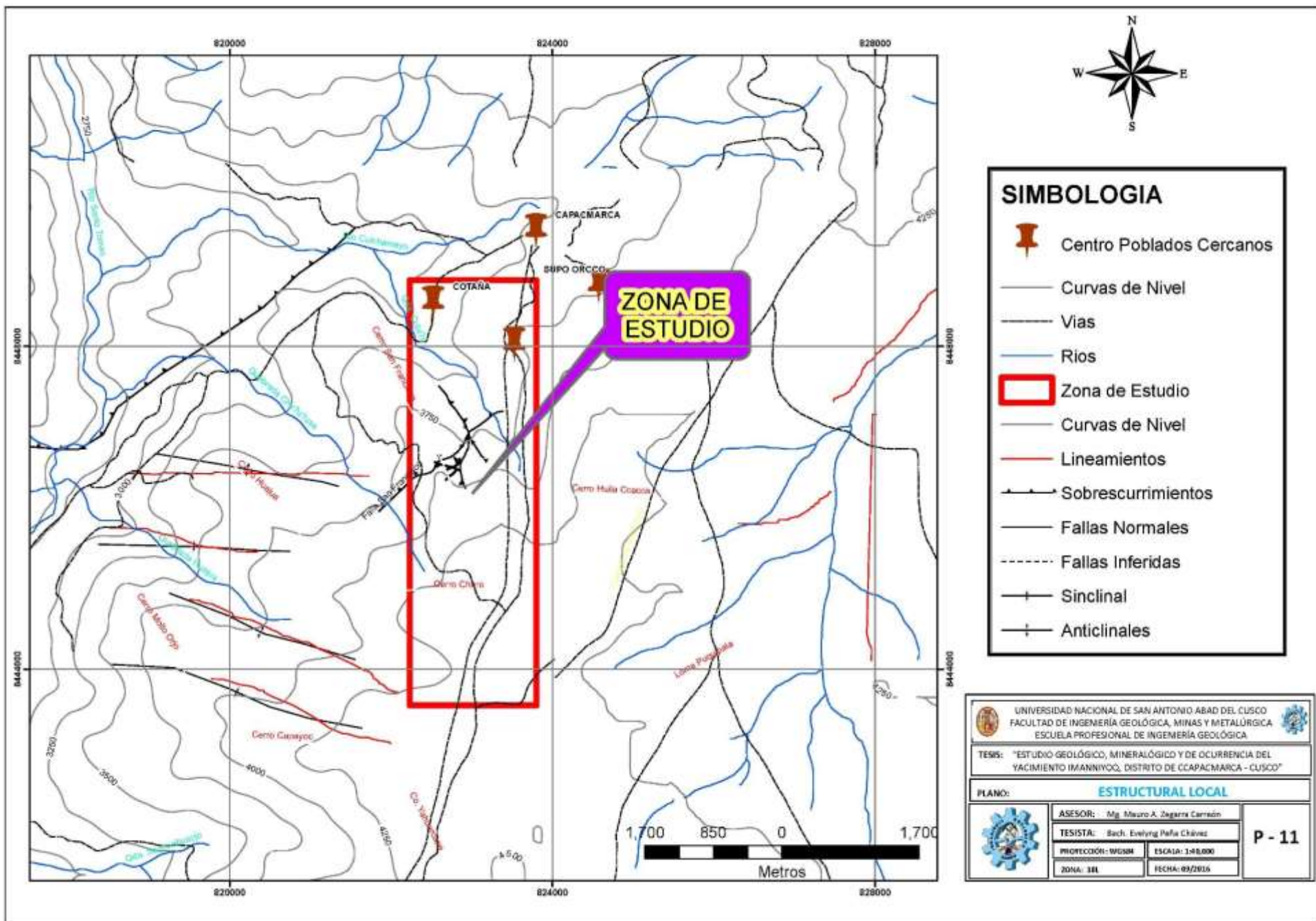
Es una falla normal que tiene una dirección S 15° E y buzamiento N 42° E que esta sobre la formación Arcurquina y se desplaza al pie del Cerro Imanniyoc.

4.2.3.4. FALLA P´UCCO

Es una falla transversal y a la vez atraviesa las calizas de la zona con un rumbo S 60° W y buzamiento S 56° E



Foto N° 15: Ubicación fallas en zona de estudio.



CAPÍTULO V

EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

5.1. GENERALIDADES:

La exploración geoquímica es un método indirecto y consiste en el análisis sistemático y preciso de la composición química de los metales naturales (rocas, suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, vegetación, etc.) con el objeto de detectar los valores que se desvían considerablemente de la concentración normal de los elementos en el medio analizado “fondo geoquímico”, cuya distribución puede contribuir a la localización del cuerpo mineral que ocasiona.

En el yacimiento Imanniyok se realizó muestreo en diferentes afloramientos de manera aleatoria y sistemática que nos permitieron conocer los elementos composicionales de las rocas y darnos la idea de las concentraciones porcentuales, este método se empleó a través de técnicas de muestreo y con criterio geológico. Que posteriormente estos resultados obtenidos de laboratorio siguieron por un proceso de análisis y cuadros estadísticos.

5.2. MUESTREO

Consiste en el proceso técnico de recolección de porciones de roca, suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, vegetación, etc. Con el objetivo de arrojar luz sobre las características cualitativas-cuantitativas de dicho materiales. La muestra recolectada debe ser la más representativa del material del cual proviene.

Los trabajos de demuestre y valoración de los minerales constan de las siguientes etapas:

- Toma o recolección de las muestras.
- Prospección de las muestras.

- Estudio de las muestras en los laboratorios.
- Análisis de los datos obtenidos en los laboratorios.

Recomendaciones en la toma y preparación de muestras:

- La muestra tomada debe ser representativa, es decir la muestra debe contener los mismos componentes y en la proporción con las que se encuentran in – situ.
- Antes de realizar un muestreo se debe de hacer una limpieza, eliminando capas de intemperismo, meteorización, presencia de vegetación, etc.
- Evitar que la muestra sea contaminada
- Se recomienda que se realice el muestreo directamente a la bolsa de muestreo así se evitara contaminarlos.
- Tener en cuenta el peso de la muestra, la cual dependerá del tipo de análisis que se requiere hacer.
- Se debe ubicar con un GPS el punto exacto donde se ha tomado la muestra.
- En la libreta de campo se debe anotar las descripciones geológicas, estructurales, etc. con la ayuda de una lupa, rayador, ácido clorhídrico, etc.
- Cuando se tiene que enviar una muestra representativa de una labor minera, para estudios más específicos, se tiene que realizar el cuarteo y esta debe de realizar con mucha cautela.
- En la bolsa de muestreo se debe marcar con un plumón indeleble el código de la muestra, así mismo se debe poner dentro de la bolsa una tarjeta con el mismo código y deben de estar bien atadas para evitar todo tipo de contaminación.
- Cada muestra deberá estar codificada y esta debe de indicar: lugar, punto de GPS, numero de muestra, iniciales del geólogo, tipo de muestreo y tipo de materia es opcional.

5.3. PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA EN EL YACIMIENTO IMANNIYOQ

5.3.1. MÉTODO DE MUESTREO

El muestreo geoquímico se llevó a cabo bajo el estricto procedimiento de control de calidad, previsto en los protocolos internos de muestreo geoquímico para obtener valores confiables, aproximados a la realidad. Las muestras fueron enviadas al laboratorio “Laboratorios analíticos del sur” para ser analizados por el método de absorción atómica por 32 elementos.

La campaña de exploración geoquímica se llevó a cabo en dos etapas (ver tabla N° 2 y 3).

La primera etapa consistió en la recolección de muestras obtenidas de manera aleatoria tomadas por el método de punto “chip”, canal y sistemáticamente por trincheras.; dentro de una estrategia bien definida. La segunda etapa consistió en la recolección de muestras sobre una malla cada 200 x 200 m²

Tomadas en cada punto de intersección de la grilla generada en todo la zona de estudio.

Teniendo en cuenta las dos etapas de recolección de muestras, se obtuvieron un total de 137 muestras entre originales, duplicados y blancos. (Ver plano N° 15)

Tabla N° 2: Campañas De Exploración Geoquímica en el yacimiento Imanniyooq

ETAPAS	TIPO	CANTIDADES	OBSERVACIONES
1° ETAPA	ORIGINALES	118	Geoquímica
	DUPLICADOS	7	QA-QC
	BLANCOS	7	QA-QC
2° ETAPA	ORIGINALES	5	Geoquímica
	TOTAL	137	

Fuente: propia 2016

Tabla N° 3: Tipos y métodos de muestreo geoquímico en el yacimiento Imanniyooq

ETAPAS	TIPO DE MUESTREO	METODO DE MUESTREO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1º ETAPA	SISTEMATICO	Trincheras	10	Total 5 trincheras
	SELECTIVO	Punto (rock chip)	96	Magnetita y rocas
		Canal	12	Estructuras mineralizadas
2º ETAPA	SISTEMATICO	Puntos de grilla	5	Suelos y rocas
	TOTAL		123	

Fuente: propia 2016

Los tipos de muestreo realizados en el yacimiento Imanniyooq se resume a continuación: obteniendo 96 muestras por el método rock chip y 12 muestras por canales, 10 muestras por el método trincheras, 7 muestras duplicadas, 7 muestras blancas y 5 muestras en cada punto de grilla de 200 x 200 m², (ver tabla N° 3)

Las muestras se obtuvieron utilizando herramientas como. Combas cincel, wincha, pintura en aerosol y su ubicación de las muestras de localizo con navegadores GPS con precisión de +/- 6 m, con un peso promedio de 3 Kg. Las zonas de muestreo y las dimensiones se realizaron de acuerdo a las características geológicas de la zona a muestrear. En este estudio las

muestras de roca fueron de buena de calidad y tenían un peso apropiado para su estudio.

5.3.1.1. MUESTREO SELECTIVO

5.3.1.1.1. MUESTREO POR CANAL

Tuvo por objetivo, el reconocer las anomalías geoquímicas y determinar la concentración de elementos principalmente de hierro, mediante el afloramiento de estructuras mineralizadas.

Se realizó la limpieza de los materiales que cubrían la estructura hasta tener la superficie limpia. Seguidamente se pasó a la extracción del material para esto se apertura un canal de 5 - 15 cm de profundidad, 10 - 20 cm de ancho con una longitud igual a la potencia de la estructura mineralizada, obteniendo un promedio de 2 - 3 kg.

Cuando el material extraído superaba los 6 kg. Se realizó el cuarteo; el cual consiste en separar el mezclar el material obtenido y separar en 4 partes una vez obtenida la muestra se realizó el etiquetado, embolsado y se sea segura con un presunto de seguridad.

Finalmente se realizó las descripciones de las características del afloramiento, mineralización, tipo de estructura, tipo de alteración, orientación de las estructuras y unidades litológicas. Para terminar se realizó la demarcación del canal con pintura en aerosol, etiquetado o codificación con el número de la muestra. (Ver foto N°16)



Foto N° 16: Muestreo por canal

5.3.1.1.2. MUESTREO EN CHIP (PUNTOS)

Este método de muestreo fue la que se empleó principalmente en el área de estudio, se realizó en afloramiento de magnetita, en rocas con contenido altos de magnetita, óxidos de hierro y con contenidos de sulfuros y rocas con alteración sobresaliente. Las muestras se obtuvieron a lo largo de la potencia del cuerpo mineralizado. Extrayendo puntualmente fragmentos y astillas de magnetita. Se tomó sucesivamente y perpendicularmente a la dirección del cuerpo mineralizado. Para obtener estas muestras se realizó primero la limpieza de la superficie a muestrear con dimensiones ya mencionados anteriormente. Posteriormente se realizó la descripción de la mineralización, alteración, unidad litológica, orientación de la estructuras (Azimut y buzamiento), posteriormente se realizó el embolsado y etiquetado de las muestras (ver foto N 17) .Se obtuvieron un total de 96 muestras.



Foto N° 17: Recolección de muestras por el método de puntos “chips”

5.3.1.2. MUESTREO SISTEMATICO

5.3.1.2.1. PUNTOS DE GRILLA

Las muestras se tomaron en una malla regular de 200 x 200 m², se empleó para localizar anomalías desarrolladas en todo el yacimiento Imanniyoc obteniendo en total 5 muestras (Ver plano N° 14).

Su procedimiento se describe a continuación:

- Se ubicó el punto a muestrear de acuerdo al enmallado de la zona a explorar y verificado con el GPS.
- En los puntos donde coincidía con un suelo, con la ayuda de una picota se realizó un hoyo de 20 cm de profundidad.
- Se desmenuzó la tierra escogiendo raíces, hojas, rocas menudas, etc.
- Se realizó el llenado del suelo a la bolsa de muestreo evitando que contenga aire en su interior y envolverlo.
- Finalmente se pasó a la descripción y rotulado de cada una de las muestras.

5.3.1.2.2. MUESTREO POR TRINCHERAS

Este tipo de muestreo se realizó en las faldas de los cuerpos mineralizados, tuvo por objetivo determinar contactos litológicos, determinar su variación vertical del cuerpo mineralizado, observar muestras de profundidad ubicadas por debajo zonas de lixiviación, cobertura de meteorización entre otros. Para ello se apertura un total de 2 trincheras, obteniendo un total de 4 muestras. Su procedimiento se describe a continuación:

- Se excavo una zanja o trinchera de 50 cm de ancho, hasta profundidades de 50 cm, hasta obtener en algunos casos estructuras frescas.
- Seguidamente se extrajo las muestras de cada trinchera, con una masa promedio de 3 kg, para lo cual se realizó el cuarteo.
- Finalmente se pasó a la descripción y etiquetado a cada una de las muestras, procedimiento rotulado idéntico al de muestreo por grillas.



Foto N° 18: Recolección de muestras por el método de trincheras



Foto N° 19: Muestreo por trinchera

A continuación se detallan los parámetros de muestreo por cada trinchera y sus respectivos resultados geoquímicos:

Tabla N° 4: parámetros de muestreo y resultados geoquímicos promedios por trincheras.

CODIGO TRINCHERA	MUESTRA	NOMBRE	* 551 Au (g/TM)	*551 Au oz/OT	*521 Fe T %	* 538 Cu	* 540 Ag	
						%	g/TM	oz/TC
T-01	MN16002028	Muestra 6	b < 0.10	-	66.84	0.200	5	0.13
T-02	MN16002029	Muestra 3	0.48	0.014	51.46	0.054	7	0.19
T-03	MN16002030	Muestra 4	0.14	-	67.36	0.269	5	0.13
T-04	MN16002032	Muestra 5	b < 0.10	-	27.76	0.021	4	0.12
T-05	MN16002033	Muestra 1	0.28	0.008	41.69	b< 0.004	5	0.13
"b < Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método								

Fuente: Datos procesados en base a los resultados de análisis de laboratorio. Propia 2016

Tabla N° 5: Datos generales de la muestra analizada por el ensayo multielemental

CODIGO	X	Y	ZONA	MUESTRA	NOMBRE
I-20/20-01	823511	8445253	18L	MN16002028	muestra 6
* 598	Método de Ensayo Multielemental por ICP - OES digestión multi-ác.				
obs.	a < Valor Numérico = Límite de detección del método y cuantificación del método				

Fuente: Propia 2016

Tabla N°6: Resultados de análisis para Ag, al, as, B, Ba, Be, Bi, Ca y Cd.

*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598
Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd
pmm	pmm	Pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm
0.75	1332	a < 0.64	518.5	10.4	a < 0.64	a < 2.0	676.9	13.95

Fuente: Resultado de Laboratorios Analíticos del Sur

Tabla N°7: Resultados de análisis para Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li y Mg.

*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598
Co	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg
pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm
23.02	105.97	40.8	> 10,000	51.29	a < 0.40	196	a < 3.2	229.6

Fuente: Resultado de Laboratorios Analíticos del Sur

Tabla N°8: Resultados de análisis para Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se y Sn.

*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598	*598
Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn
pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm
132.1	12.56	253.6	10.2	238.9	31.05	16.14	a < 0.64	a < 16

Fuente: Resultado de Laboratorios Analíticos del Sur

Tabla N°9: Resultados de análisis para Sr, Te, Ti, Tl, V y Zn.

*598	*598	*598	*598	*598	*598
Sr	Te	Ti	Tl	V	Zn
pmm	pmm	pmm	pmm	pmm	pmm
4.98	a < 0.80	95.96	a < 0.64	18.87	a < 0.80

Fuente: Resultado de Laboratorios Analíticos del Sur

5.3.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS, ANÁLISIS Y SEGURIDAD

5.3.2.1. MÉTODO DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Una vez obtenida las muestras se colocaron en bolsas estándares de polietileno, cada muestra fue descrita macroscópicamente, seguidamente fue etiquetada con un código. (Ver foto N°20 y 21)



Foto N° 20: Muestras en sus respectivas bolsas.



Foto N° 21: Etiquetado de muestras.

La descripción de las muestras fue realizada en un tarjeta que presentaba campos para completar las diferentes características principales (coordinada, mineral, alteración, entre otros esta operación se repitió para cada uno de las muestras tomadas, para finalmente pasar la información a una hoja de cálculo de Excel.

Cada 10 muestras fueron rellenas en sacos de arroz con su respectiva codificación y finalmente se aseguró para evitar la manipulación. (Ver foto N° 22)



Foto N° 22: Recolección de muestras.

Finalmente se realizó el traslado en las movilidades respectivas al laboratorio para su respectivo análisis.

5.3.2.2. CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)

El control de calidad consistió en el manipuleo de las muestras, desde el momento de extracción, teniendo cuidado que otros materiales contaminantes y que generen errores en los resultado.

Para controlar al laboratorio de análisis (QA) por posibles contaminantes se insertaron muestras duplicadas y en blanco.

En la primera etapa de muestreo geoquímico se insertaron muestras duplicados y blancos cada 20 muestras. Las muestras en blanco se colocaron según el criterio.

5.3.2.2.1. MUESTRAS DUPLICADAS

Como se mencionó anteriormente estas muestras se insertaron cada 20 muestras recogidas que quiere decir es el duplicado que se obtiene del número anterior, sea de una numeración del 1 al 20, el duplicado se obtendría del número 19, teniendo como duplicado el número 20. Este control consta en obtener 2 muestras de un solo punto, para ello se realizó, la trituration del

material hasta tamaño de 3/4, para finalmente ser mezclado y separado en 4 partes “cuarteo”, y obtener ambos extremos. Obteniéndose un total de 7, tuvo como objetivo controlar, al laboratorio en cuanto al análisis de cada uno de las muestras.

5.3.2.2.2. MUESTRAS BLANCAS

Son muestras de material exentas del elemento de interés. Los blancos ayudan a monitorear la contaminación y desplazamiento en la secuencia de muestras durante el proceso de muestreo, identificación y preparación de muestras.

5.4. INTERPRETACION GEOQUIMICA

La zona de estudio se caracteriza por presentar una mineralización principalmente de Fe y presencia en menor proporción de Au, Ag y Cu. Para tener una visión más acertada de los resultados geoquímicos estos se han obtenido en diferentes puntos de la zona en estudio, en diferentes tipos de litología como se mencionó en los ítems anteriores. Estas muestras se tomaron de los cuerpos de magnetita, dioritas, monzodíritas, mármol y otras.

5.4.1. DISTRIBUCION GEOQUIMICA

Para determinar zonas potenciales para la exploración se realizó gráficamente los valores de los análisis y como estos se distribuyen en la zona de estudio, identificando zonas de interés con valores que están dentro de los umbrales recomendados.

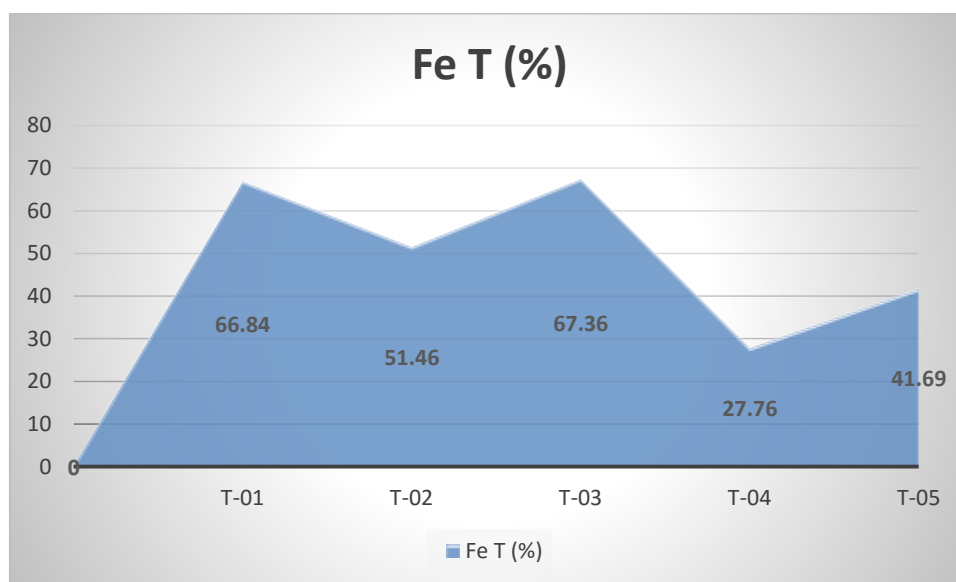
5.4.2. INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA DE LOS RESULTADOS

5.4.2.1. INTERPRETACIÓN GEOQUIMICA PARA EL HIERRO (Fe)

En este mapa se puede apreciar anomalías geoquímicas de hierro, las concentraciones anómalas de hierro se ubican en la zona de trabajo.

Las concentraciones de hierro obtenidas de los diferentes tipos de muestreo logran alcanzar mayormente leyes que superan el 55 %, lo que significa que significa el enteres geoquímico del hierro es favorable para desarrollar estudios más detallados. (Ver tabla N°4 y 10)

Tabla N° 10: Resultados de Fe total por trincheras



Fuente: Se elaboró en base a los resultados

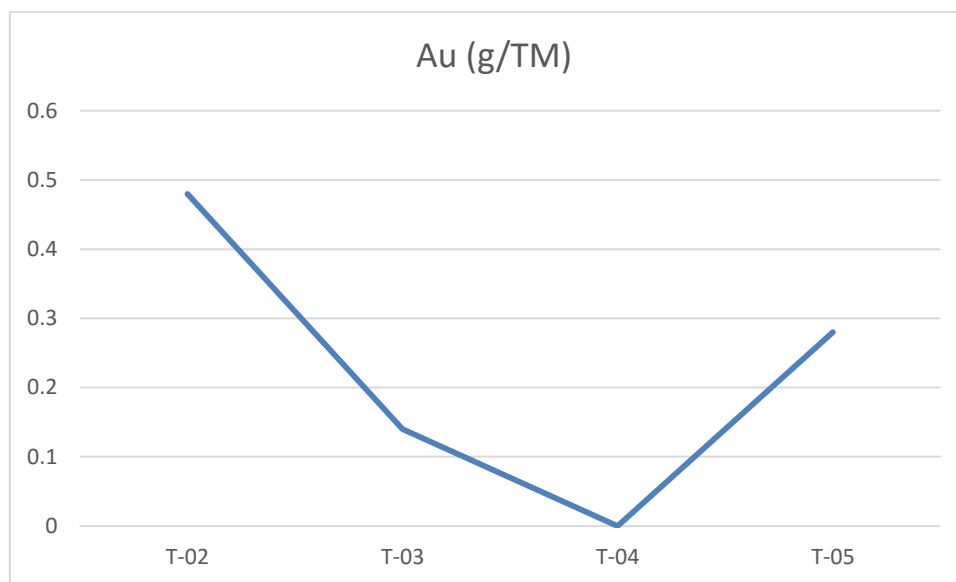
Como se aprecia en la tabla N°10 los valores promedios más altos por trinchera corresponden a las trincheras T – 07, T – 01 y T – 02 con valores de Fe por encima de los 50% asociados superficialmente a zonas de skarn y a coluvios de magnetita.

5.4.2.2. INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA EL ORO (Au)

La presencia de oro, no es tan marcada en la zona de estudio, en los afloramientos de la zona de brecha de magnetita con leyes que llegan a tener hasta de 0.8 g/T.

De manera muy dispersa se ha podido encontrar en las muestras de suelos con leyes que oscilan entre 0.1 – 0.48 g/T. (Ver tabla N° 4 y 11).

Tabla N° 11: Resultados de Oro (Au) por trincheras.



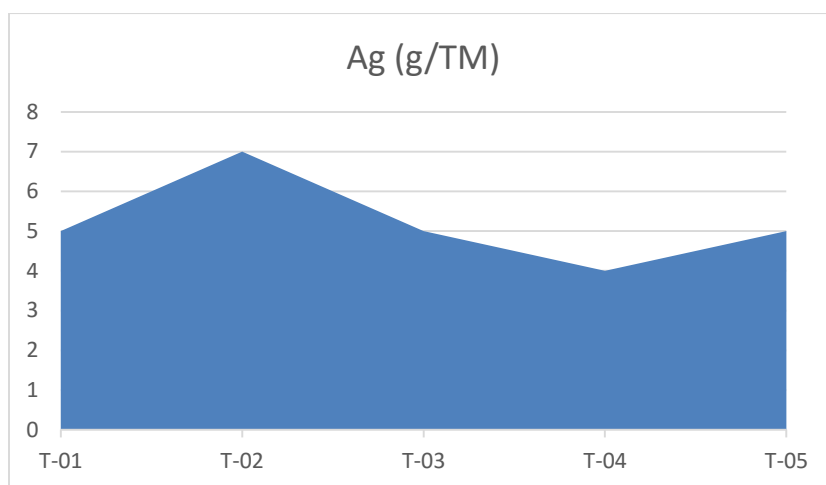
Fuente: Se elaboró en base a los resultados

Los valores promedios más altos corresponden a la trinchera T – 02 con valores para el oro por encima de 0.48 g/T, asociados superficialmente a zonas de brecha hidrotermal de magnetita. (Ver tabla N° 2).

5.4.2.3. INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA LA PLATA (Ag)

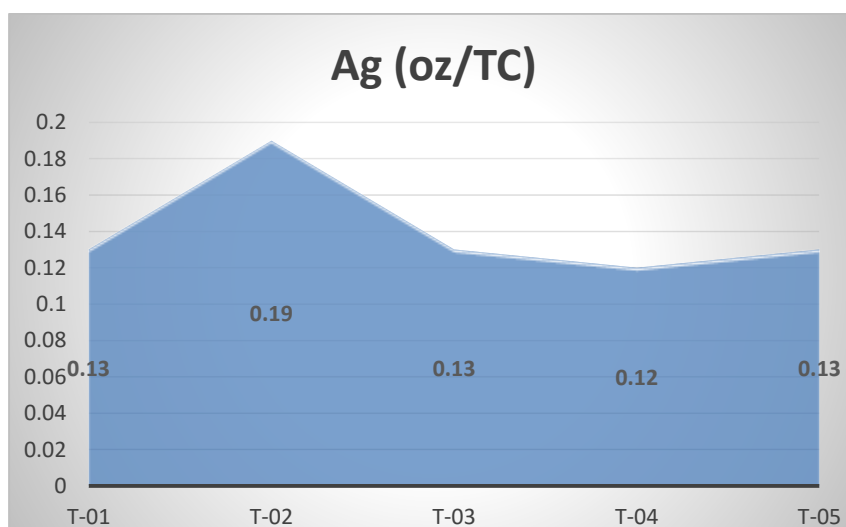
La plata se muestra con mayores anomalías en la zona de estudio, donde se puede apreciar valores que oscilan entre 4 – 5 g/TM su ubicación se da en muestras de magnetita silicificadas.

Tabla N° 12: Resultados de Plata (Ag) por trincheras



Fuente: Se elaboró en base a los resultados

Tabla N° 13: Resultados de Ag por trincheras

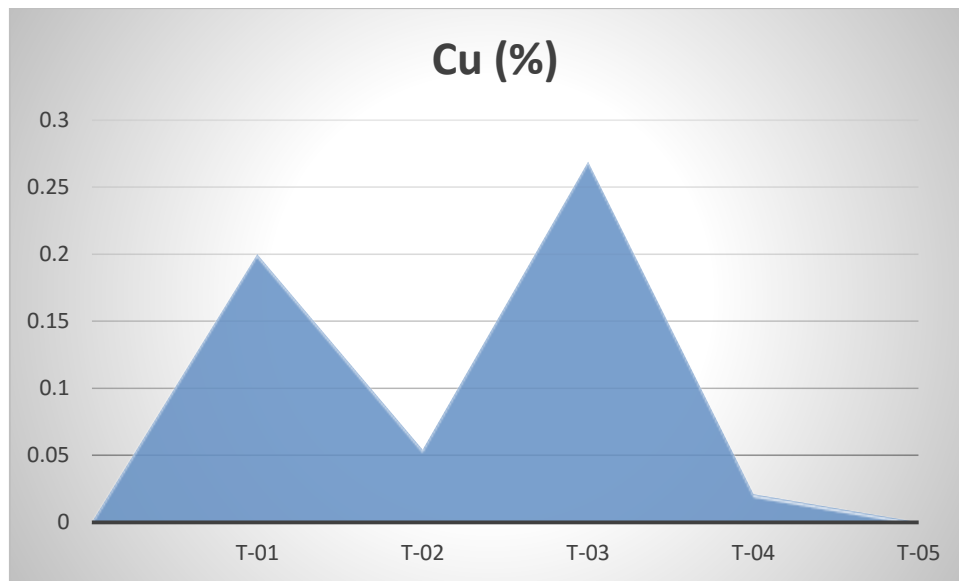


Fuente: Se elaboró en base a los resultados

5.4.2.4. INTERPRETACION GEOQUIMICA PARA EL COBRE (Cu)

Las anomalías de cobre al igual que el hierro se encuentran distribuidas con valores altos en la zonas de trabajo, sus leyes varían entre 40.8 ppm. En estas zonas se han podido apreciar minerales secundarios de Cu, tales como crisocola, malaquita entre las fracturas y oquedades.

Tabla N° 14: Resultados de Cu por trincheras



Fuente: Se elaboró en base a los resultados

CAPÍTULO VI

MINERALIZACION Y ALTERACIONES

6.1. MINERALIZACIÓN

La mineralización de hierro se asume que está relacionado principalmente al Skarn asociado al intrusivo diorítico, monzodiorítico y cuarzomonzodiorítico, el yacimiento en estudio está compuesto por magnetita y óxidos de hierro; en el endoskarn se encuentra venillas irregulares y en el exoskarn se presenta de forma masiva; se podría decir que la magnetita se encuentra en equilibrio con los granates, epidota, piróxenos, etc.

Los cuerpos de magnetita se presenta en afloramientos de cuerpos masivos y brechas hidrotermales, generalmente presenta una orientación general NE-SW. Los emplazamientos que se evidencia son a través de las fallas. En la zona de estudio también se resalta la presencia de Ag, Au y trazas de Cu, manifestándose en diferentes puntos de muestreo y validados por análisis de laboratorio.

Metalogenéticamente el yacimiento Imanniyoy está ubicado dentro del área delimitada por XV definida como pórfidos skarn de Cu-Mo (Au, Z) y depósitos de Cu – Fe- Au relacionados con intrusivos del Eoceno – Oligoceno (INGEMMET, 2007). (Ver plano P-12)

La mineralización se emplaza en los exoskarns de granate-progrado zonado, así como en el endoskarn. La monzodiorita antigua se caracteriza por el contenido del feldespato potásico, con el desarrollo de biotita secundaria y se encuentra cortada por vetillas de cuarzo. La mineralización y alteración del segundo evento de monzodiorita se caracteriza por el reemplazamiento de biotita primaria por biotita secundaria.

La mineralización económica está compuesta por magnetita, pirita, cuarzo, granates y anfíboles, de las cuales la pirita es el mineral ganga. La alteración hidrotermal y mineralización ocurre a lo largo del contacto entre las calizas de la formación Arcurquina y los intrusivos dioríticos, monzodioríticos y cuarzomonzodioríticos.



Foto N°23: Zona de estudio que evidencia la mineralización.

6.1.1. CUERPOS MASIVOS DE MAGNETITA

Los cuerpos de magnetita en el Yacimiento Imanniyuq, presentan una dirección preferencial de NE – SW, los afloramientos de estos cuerpos en cuanto a dimensiones podrían superar decenas de metros; algunos de estos cuerpos se presentan de forma irregular, alargados y en gran proporción rodeados de material coluvial con cantos rodados de restos de magnetita.

Cabe resaltar que la mineralogía en la zona de estudio macroscópicamente se asume que está representado por magnetita en un porcentaje de 70 – 80%, seguido por los calcosilicatos representados con 10% compuesto principalmente de granates, clinopiroxenos (diopsida),

anfíboles (tremolita – Actinolita), como minerales accesorios se tiene la pirita, cuarzo, calcita y minerales producto de la alteración entre ellos se tiene la hematita, limonita, clorita, epidota, etc.



Foto N°24: Afloramientos masivos de magnetita, ubicados en el cerro Imanniyuq.



Foto N°25: Afloramientos masivos de magnetita, ubicados en el cerro san Francisco



Foto N°26: Magnetita en contacto con el intrusivo monzodiorítico.

6.1.2. BRECHAS DE MAGNETITA

Son estructuras que cortan a los cuerpos masivos de magnetita y skarn, su ocurrencia se podría suponer a los eventos muy posteriores relacionados a intrusiones post mineralógicas, ya que estas estructuras cortan prácticamente todo el sistema de skarn.

6.1.3. TEXTURAS

El yacimiento Imanniyuq presenta magnetita con texturas variadas entre ellas se resalta las más importantes:

6.1.3.1. TEXTURA MASIVA

La mayor parte de los afloramientos de magnetita se presenta de forma masiva y compacta con algunas oquedades, también se puede apreciar en forma de cristales tetraédricos con una coloración característica gris

azulado a negro en algunos puntos donde se evidencia las fracturas se puede distinguir presencia de oxidación.



Foto N°27: Cuerpos masivos de magnetita con textura masiva.

6.1.3.2. TEXTURA BRECHOIDE

Los cuerpos de magnetita se presentan con una apariencia de brecha los cuales presentan mayor presencia de óxidos impregnados en las fracturas.



Foto N°28: Magnetita con textura brechoide.

6.1.3.3. TEXTURA BANDEADA

Se aprecian afloramientos de magnetita que presentan ciertos bandeamientos.



Foto N°29: Magnetita en contacto con el intrusivo monzodiorítico

6.1.3.4. TEXTURA OQUEROSA

La magnetita se presenta con oquedades globulares de 1 – 5 mm, presentando la apariencia oquerosa.



Foto N°30: Magnetita con textura brechoide

6.2. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN:

6.2.1. CONTROL ESTRUCTURAL:

La gran parte de la zona de estudio está cubierta por material cuaternario, lo que limita la ubicación y visualización de fallas en los afloramientos, por lo que la interpretación de imágenes satelitales y estudios in situ permitió identificar fallas.

Se ha identificado e interpretado 2 sistemas principales de fallas de dirección NW –SE (falla sotomachay) y NE – SW (falla san francisco), los cuales probablemente permitieron el emplazamiento del intrusivo diorítico y monzodiorítico a través de las fallas.

La falla Sotomachay posiblemente se comportó como falla normal durante la sedimentación Mesozoica y tuvo un comportamiento inverso entre el Eoceno y Oligoceno (orogenia incaica), mientras que la falla San Francisco posiblemente se formó en el Paleoceno y controló el emplazamiento de los intrusivos durante el Eoceno y Oligoceno.

El control estructural está dado por el fallamiento y fracturamiento de las rocas en un sistema (NW- SE) las cuales han dado lugar al relleno de una mineralización por fluidos hidrotermales, emplazados dentro de la diorita que juega un papel importante al servir como conducto que canalizaron las soluciones mineralizantes.

6.2.2. CONTROL LITOLÓGICO:

La mineralización en la zona se desarrolla en la diorita las cuales actúan como roca encajante juntamente que las calizas y estas presentan fuerte alteración debido al contacto entre las calizas Arcurquina y los intrusivos de diorítico y que produce un zonamiento en el skarns de magnetita.

6.3. ALTERACIONES:

Las evidencias de alteraciones determinadas en campo principalmente es producto de reemplazamientos y generación de nuevos minerales calcosilicatados, relacionados a la intersección de cuerpos intrusivos con rocas sedimentarias carbonatadas en diferentes eventos, produciéndose la principalmente la alteración prógrada y retrograda.

6.3.1. ALTERACIÓN PROGRADA

En primera instancia ocurre el proceso de metasomatismo de contacto, producido por la interacción de rocas intrusivas y las rocas carbonatadas de la formación arcuquina, alterándose las propiedades de la roca encajonate y generan el desarrollo de zonas marmolizadas hacia la periferie.

En el proceso de metasomatismo de contacto se produce el intercambio mineralógico generado entre los intrusivos (dioritas y monzodioritas) y las rocas carbonatadas (caliza), producto de este metasomatismo se desencadena la circulación de fluidos de alta temperatura; estos fluidos aprovechan las zonas de debilidad y fracturas de los intrusivos.

Seguidamente se da paso a los intercambios mineralógicos generando de esta manera los minerales calcosilicatados (diópsido, wollastonita, granate andradita y actinolita), estos minerales comúnmente ocurren en aureolas metamórficas de contacto en torno a los intrusivos (dioritas y monzodioritas) que intruyen secuencias calcáreas (calizas), las que se convierten en mármoles y/o skarns por el efecto del metamorfismo de contacto.

La distribución de los minerales generados durante este proceso progradante se da en un orden proximal distal de:

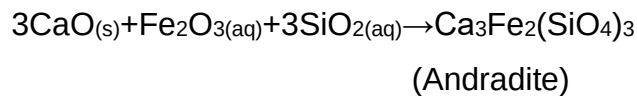
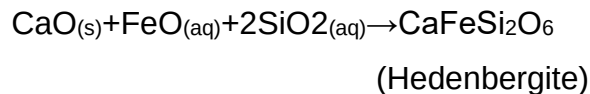
Granate - granate + piroxeno – piroxeno + granate – tremolita + granate – mármol.



Foto N° 31: contacto entre intrusivo diorítico (izquierda) y caliza de la formación arcuquina (derecha). En la diorita se observa que los minerales ferro magnesianos se están alterando a epidota; la caliza presenta venillas de granate marrón.

El proceso de progradación se caracteriza por:

- Reacción del fluido magmático, usualmente rico en Si y Fe, con carbonatos:



- Formación de Ca-silicatos anhidros (principalmente granate, piroxeno) a Temperaturas de $\sim 750^\circ - 400^\circ \text{C}$.
- Formas de magnetita en skarns magnesiano zonificación mineralógica.
- Salinidades fluidas $> 30\%$ eq. NaCl en granate y piroxeno
Isótopos de oxígeno de granate y piroxeno compatibles con el fluido magmático.

6.3.1.1. ENDOSKARN

Se asume que el endoskarn fue producto del retroceso del flujo de fluidos metasomáticos los cuales fueron enriquecidos en calcio, generando hacia el cuerpo intrusivo (diorítico y monzodiorítico), estos fluidos aprovecharon los planos de debilidad o fracturas; para el yacimiento Imanniyoy se podría denominar como una zona de endoskarn de granate – piroxeno, empleando el modelo de concentración de minerales propuesto por (Meinert, 2005)

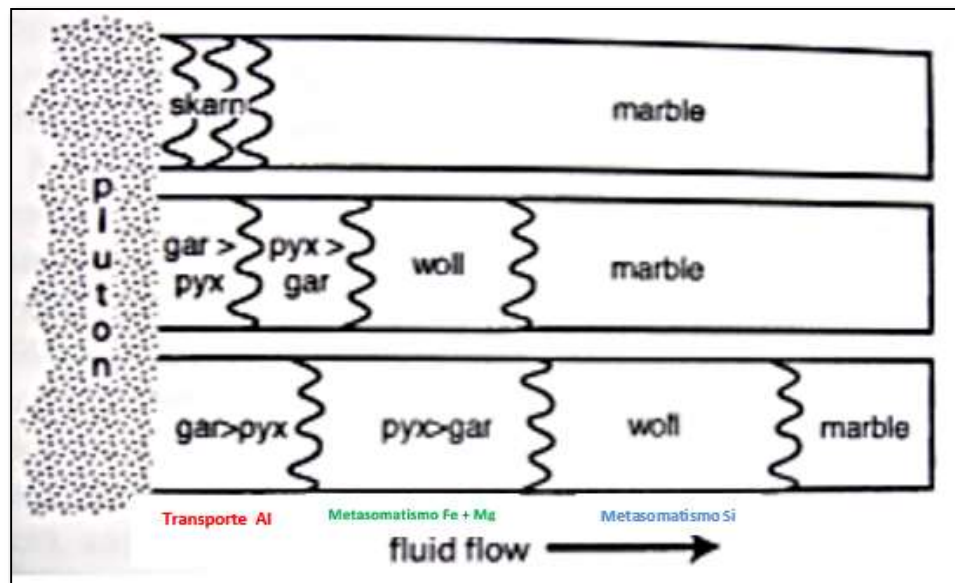


Fig. N° 14: Zonación típica de skarns de acuerdo al avance del fluido. (Meinert, 2005)

En el clásico contacto carbonato intrusivo, esta sería la roca intrusiva alterada a calco-silicato. Puede mostrar la zonificación de minerales potásicos (primarios?) a cálcica en contacto: Biotita → anfíbol → piroxeno → granate (hacia el mármol). Puede fusionarse con el exoskarn

Finalmente se puede observar la zona proximal al intrusivo, zona caracterizada por mayor cantidad de granates pardos subhedrales a anhedrales con respecto a los piróxenos; en cambio la magnetita se observa muy escasamente.



Foto N° 32: intrusivo en forma con venillas de granate y magnetita.

6.3.1.2. EXOSKARN

Se desarrolla durante el proceso de formación del Skarn generado por procesos metasomáticos, los cuales se llevaron a cabo debido a la ascensión de fluidos de alta temperatura enriquecidos con sílice, aluminio y hierro, aprovechando los planos de debilidad de los intrusivos y fracturas ascendiendo hacia la superficie y seguidamente penetrando a la roca encajonante (caliza), Iniciando la formación de los minerales calcosilicatados presentando 3 zonas de exoskarn en función a la predominancia de minerales.

6.3.1.2.1. ZONA INTERNA

- **ZONA DE GRANATE “+++” + CUARZO:**

Ubicada en la zona más próxima al endoskarn, caracterizado masivamente por granates marrones, la cristalización es de grado débil a moderado.

- **ZONA DE GRANATE “++” + CLINOPIROXENOS “+” + MAGNETITA + CUARZO**

Caracterizada por la presencia en mayor cantidad de granates marrones y en cantidades menores los clinopiroxenos (diópsida) de coloración verde claro también existe la presencia de venillas milimétricas de magnetita.

6.3.1.2.2. ZONA INTERMEDIA

- **CLINOPIROXENO “++” + GRANATE “+” + MAGNETITA “+++” + CUARZO**

Se tiene mayor reemplazamiento de magnetita a manera de parches coexistiendo con el granate y la diópsida.



Foto N° 33: imagen muestra granates marrones y piróxenos

- **CLINOPIROXENO “+” + MAGNETITA “++” (PARCHES) + CUARZO**

Presencia predominante de diópsida y la disminución de granate presentando una coloración más clara y un incremento de magnetita con respecto al caso anterior; esta zona básicamente se caracteriza por el reemplazamiento masivo de magnetita y trazas de minerales calcosilicatados en las zonas de debilidad evidenciándose algunos bandeamientos hacia el contacto con otra zona.

6.3.1.2.3. ZONA EXTERNA

- **ANFIBOL (TREMOLITA/ACTINOLITA) + MAGNETITA “++” + CUARZO**

Ubicada en la parte más distal del exoskarn, la mineralización está representada por la magnetita y la presencia de anfíboles (tremolita y actinolita), los cuales se evidencian tanto aciculares como masivos con una coloración blanquecina.

6.3.1.2.4. MARMOL

Se produce como resultado de la interacción de los eventos de intrusivos dioríticos y monzodioríticos generando que la caliza se recristalice como producto del metasomatismo de contacto, producto de ello se presenta una textura granular de fino a grueso de color gris claro a blanco también se aprecia la presencia de tremolita (aciculares) dispersos en el mármol.

Localmente las zonas marmolizadas son escasas con poca extensión.

6.3.2. ALTERACIÓN RETROGRADA

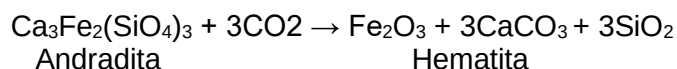
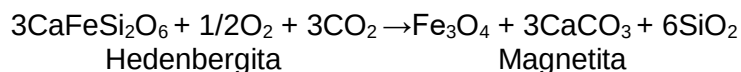
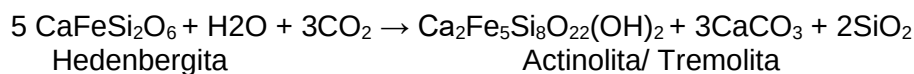
Se presenta como consecuencia a las zonas de contacto metamórfico original, zona de exoskarn y endoskarn progrado; iniciando cuando finaliza el desarrollo del skarn, seguido por el enfriamiento y finalmente producto de la mezcla con aguas meteóricas oxigenadas, aprovechando las zonas de debilidad, generando variación del pH, también se presencia alta fugacidad de azufre; donde los minerales calcosilicatados metamórficos y metasomáticos varían su composición por disolución del calcio e inserción de fluidos volátiles en el sistema de skarn, generando nuevos minerales hidratados de baja temperatura a partir de los minerales precursores anhidros y precipitación de sulfuros. El endoskarn se caracteriza principalmente por la alteración propilítica de temperatura baja, generándose la alteración de los

granates, clinopiroxenos y plagioclasas que por reemplazamiento pueden generar epidota, cuarzo y la calcita.

El exoskarn presenta el reemplazamiento de granate y piróxenos por epidota, también se puede evidenciar venillas con actinolita, clorita, pirita y calcita, atravesando las zonas skarnificadas.

En la parte superficial se puede apreciar que las aguas meteóricas produjeron efectos supergenos produciendo argilización en los intrusivos y oxidación de los cuerpos de magnetita estos últimos presentándose como hematita y limonita.

6.3.2.1. PROCESO RETROGRADO



6.4. ANÁLISIS MINERALÓGICO DEL SKARN DE MAGNETITA IMANNIYOQ

Las siguientes imágenes muestran las descripciones de las muestras tanto macroscópicas como microscópicas; para lo cual se efectuó descripciones macroscópicas corroboradas con estudios petromineraográficos (secciones delgadas y pulidas) y análisis mineralógicos.

6.4.1. DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA

MUESTRA N° 1:

Intrusivo Diorítico - Endoskarn: Posiblemente existe la presencia de diópsida, también se observa clorita, epidota (pequeños parches), trazas de granates rosados. Presenta una textura granular evidenciándose la alteración retrograda. Probablemente los granates se están alterando de cloritas hacia actinolitas.



Foto N° 34: Intrusivo diorítico

MUESTRA N° 2:

Skarn de granates: Presenta una textura granular, también se observa cloritas con actinolitas, el cual está sufriendo un proceso retrogrado, quedan parches de granate los cuales se están alterando a clorita. Se observa un granate marrón. Los granates se están remplazando en una matriz verde oscura posiblemente la clorita está sufriendo un proceso retrogrado.



Foto N° 35: Skarn de granate.



Foto N° 36: Presencia de granates.

MUESTRA N° 3

Skarn Granular: Presencia de Epidota formando parte del Skarn producto del zonamiento. Skarn con parches de magnetita en una matriz verdosa (clorita, epidota). Textura granular, se puede observar textura ígnea, se asume que es parte del endoskarn en una zona de transición.



Foto N° 37: Skarn granular.

MUESTRA N°4

Presenta una textura granular, se observa que la alteración no es mucha, en este endoskarn se ven minerales que se astillan, también se observa un poco de clorita, Diópsida, epidota, feldespatos alterándose a arcillas.

Se observa puntos de óxido en partes y presenta venillas de magnetita, oxidas de piritita el cual presenta halos de oxidación y se le asigna como una textura manchada, la presencia de venilla de magnetita reemplazando la matriz.



Foto N° 38: Endoskarn.

- **MUESTRA N°5**

Magnetita: Hay gran abundancia de este material en la zona; junto con la hematita es una de las menas más importantes, al contener aproximadamente un 72% de hierro (es el mineral con más contenido en hierro).



Foto N° 39: magnetita.

6.4.2. DESCRIPCIONES MICROSCOPICAS

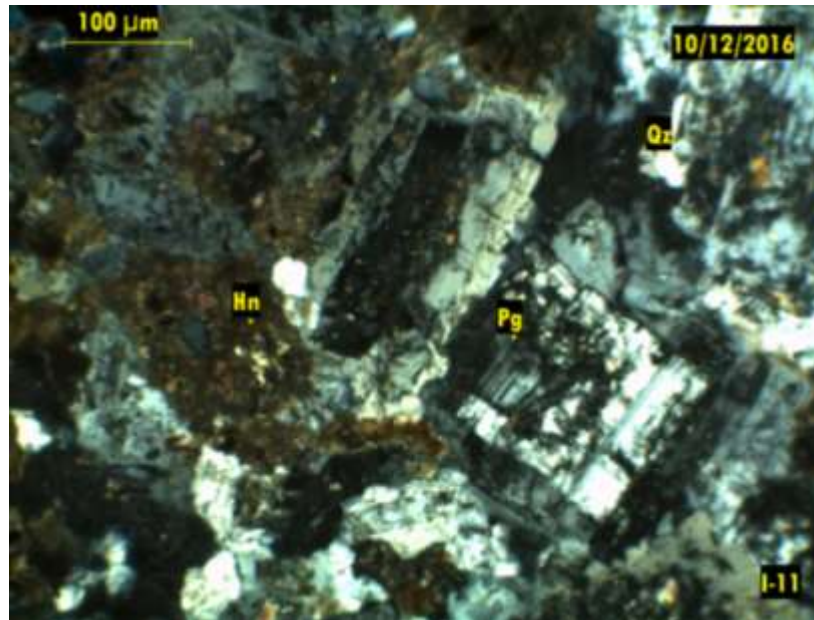


Foto N° 40-A: Cuarzo Monzodiorita de Horblenda (NC). Listones de plagioclasa (Pg) entrelazados con espacios ocupados por Horblenda (Hn) y Cuarzo (Qz).

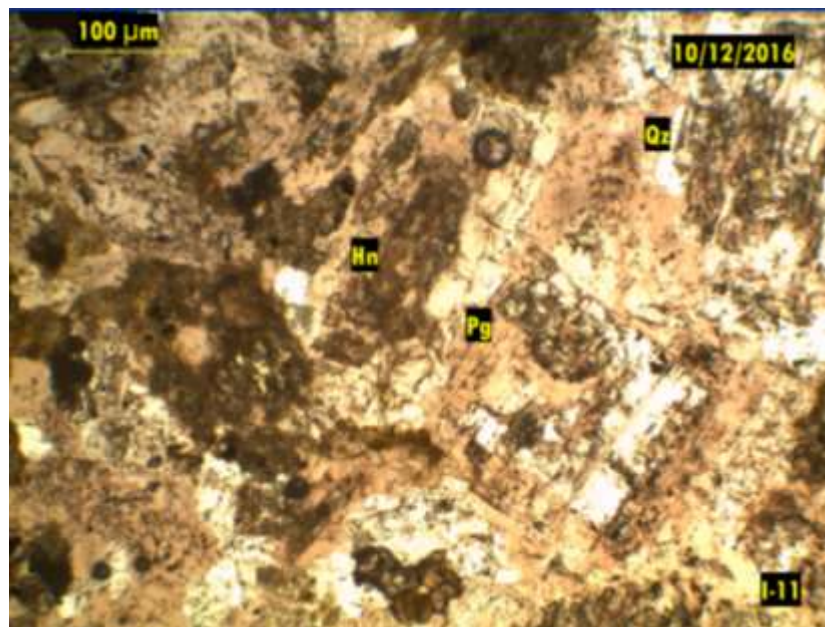


Foto N° 40-B: Cuarzo Monzodiorita de Horblenda (NP). Listones de plagioclasa (Pg) entrelazados con espacios ocupados por Horblenda (Hn) y Cuarzo (Qz).

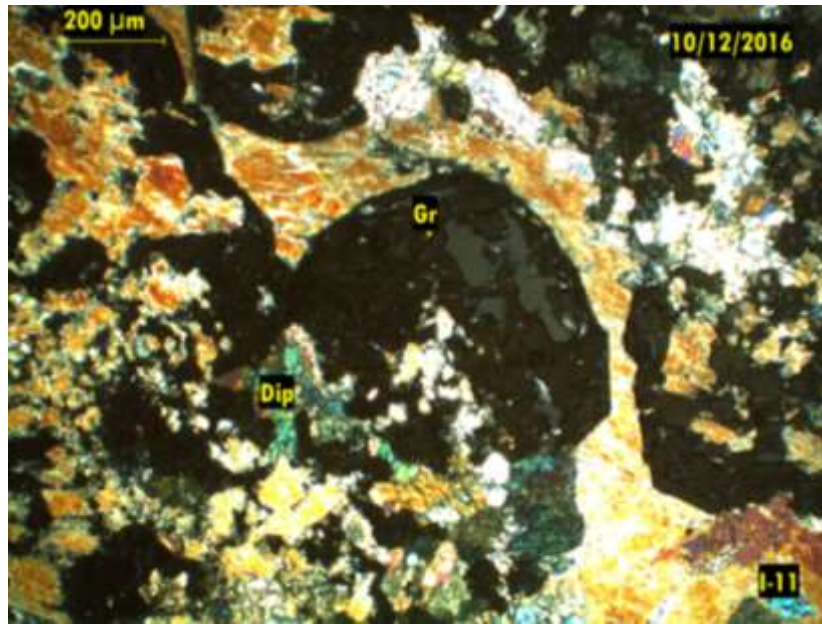


Foto N° 40-C: Banda de endoskarn (NC). Granate (Gr) mayor que diópsida (Dip) asociado con epidota y calcita. Dentro de la Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (Hn).

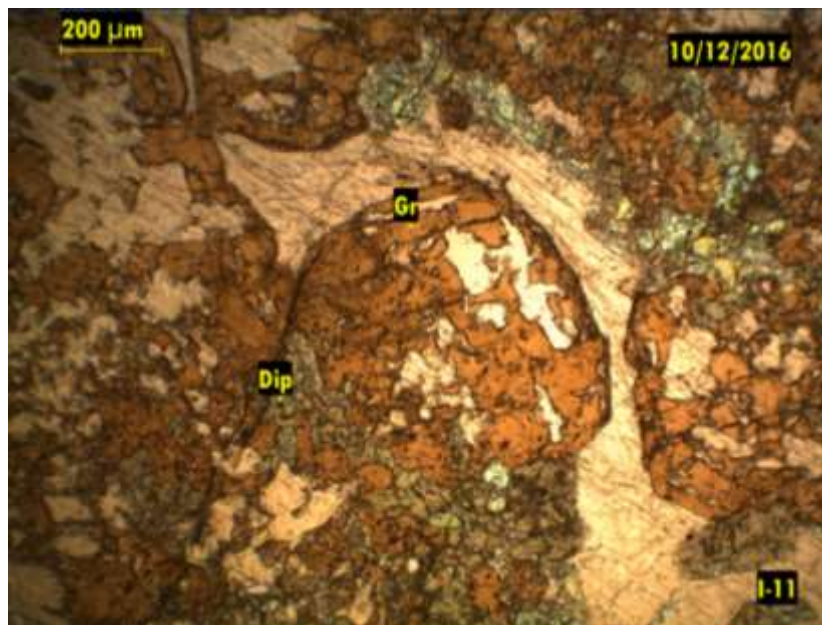


Foto N° 40-D: Banda de endoskarn (NP). Granate (Gr) mayor que diópsida (Dip) asociado con epidota y calcita. Dentro de la Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (Hn).

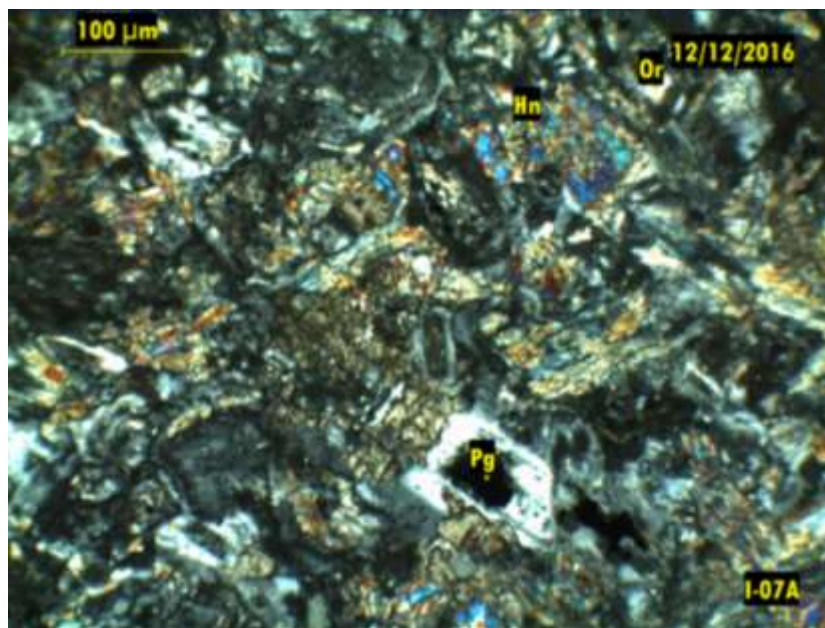


Foto N° 41-A: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NC). Hornblenda (Hn) fuertemente alterada a clorita y plagioclasa (Pg) tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla y ortoclasa (Or) anhedral e intersticial.

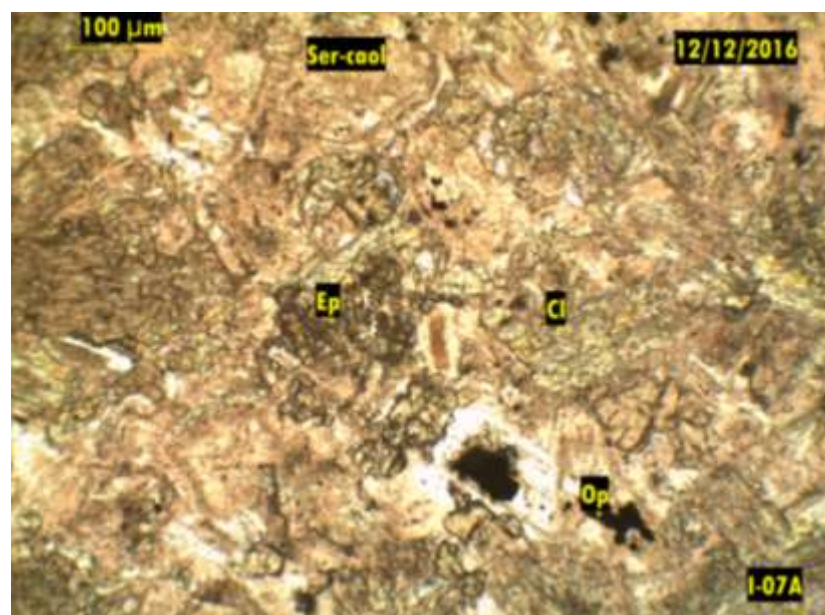


Foto N° 42-B: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NP). Hornblenda fuertemente alterada a clorita (verde) y plagioclasa tabular moderadamente alterada a sericita-arcilla (rosado) y ortoclasa anhedral, fresca e intersticial. Epidota (Ep) verde amarillento en alto relieve.

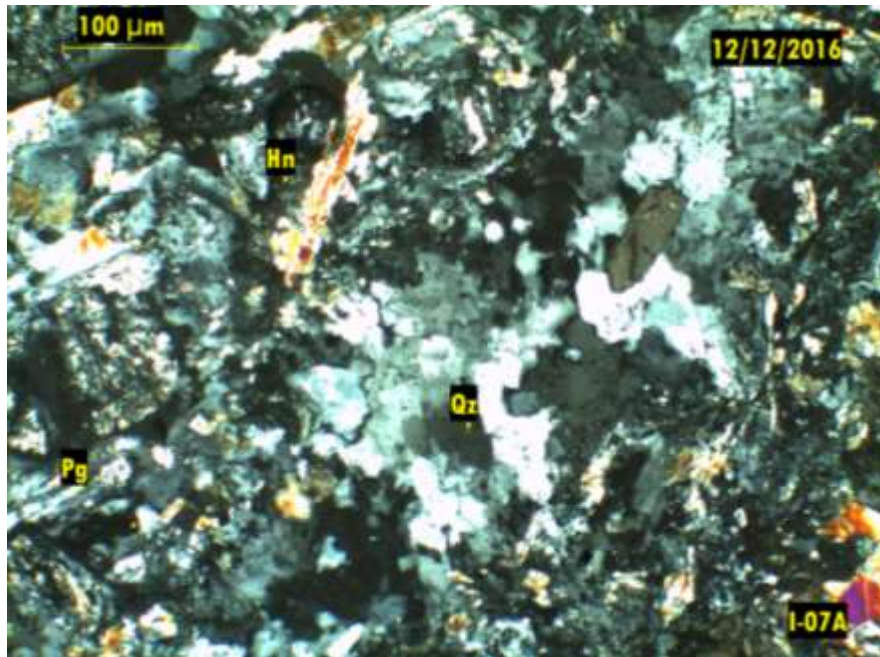


Foto N° 43-C: Cuarzo monzodiorita de Hornblenda (NC). Granos de cuarzo anhedrales entrelazados en la parte central de la fotografía.

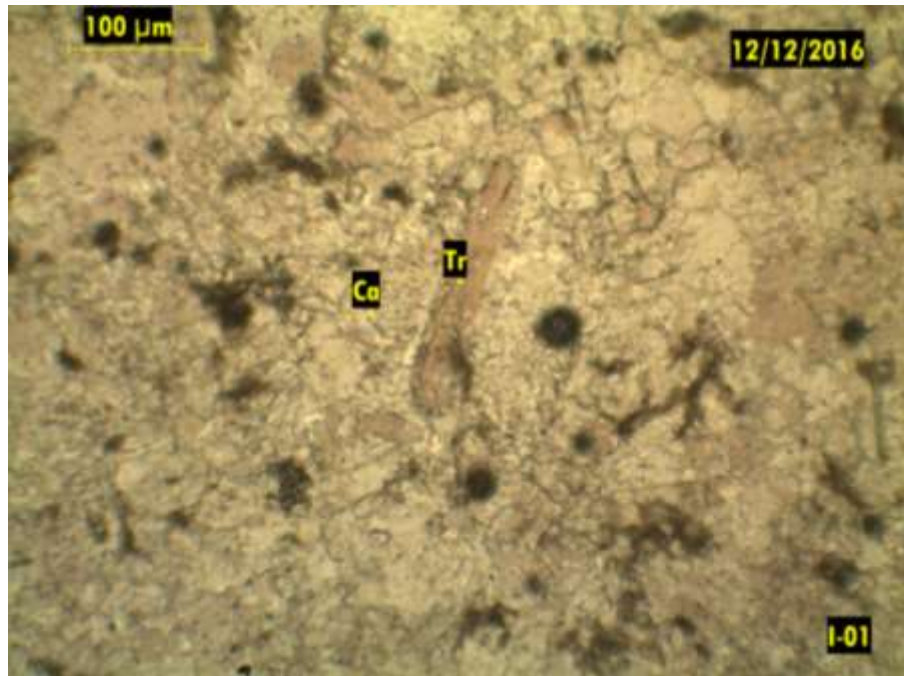


Foto N° 44-A: Mármol con tremolita (NP). Cristales anhedrales y entrelazados de calcita (Ca). Cristal de tremolita (Tr) prismático en el centro de la fotografía.

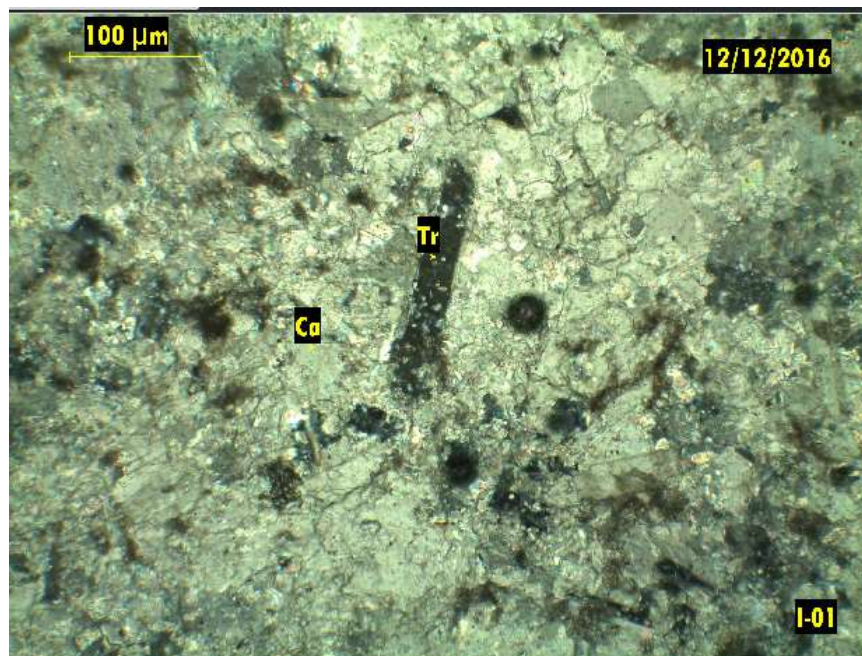


Foto N° 44-B: Mármol con tremolita (NC). Cristales anhedrales y entrelazados de calcita (Ca). Cristal de tremolita (Tr) prismático en el centro de la fotografía.

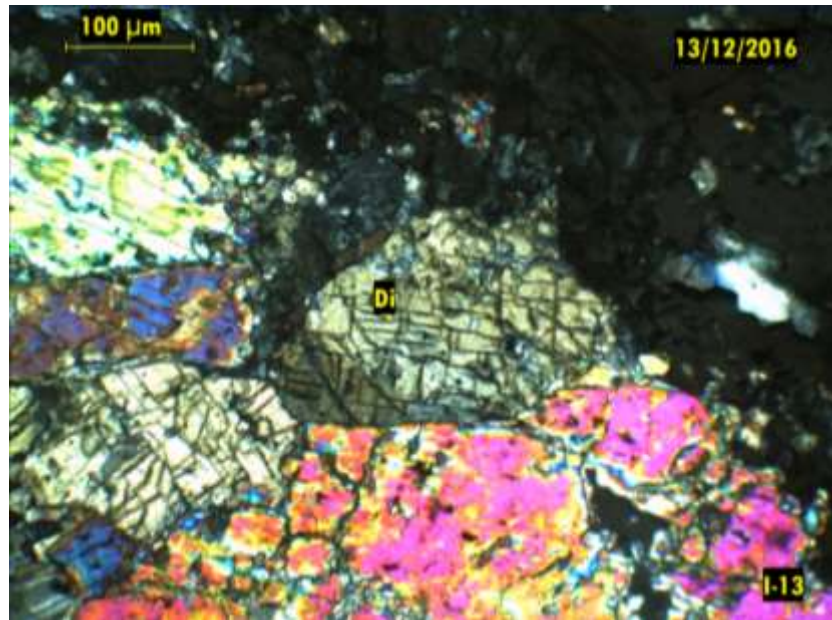


Foto N° 45-A: Banda de endoskarn de diopsida (Di) (NC). Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos. Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).

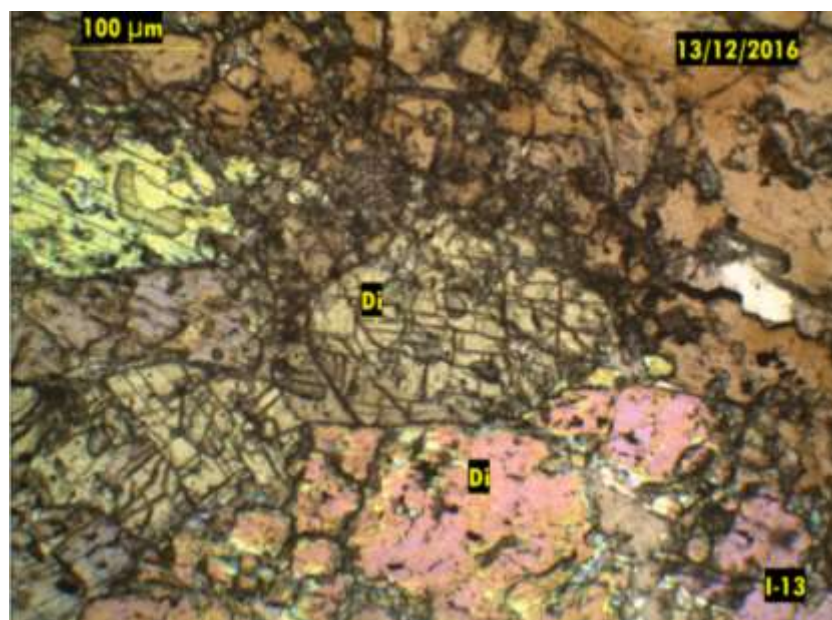


Foto N° 45-B: Banda de endoskarn de diopsida (Di) (NP). Granos subhedrales a anhedrales de diopsida intercrecidos. Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).

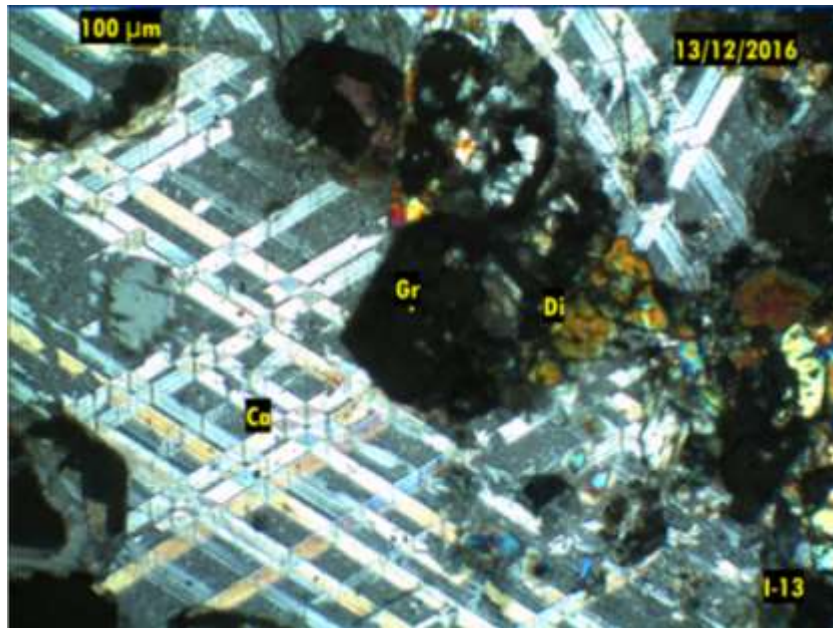


Foto N° 46-A: Calcita (Ca) incluyendo granate y diopsida (Di) (NC). Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).

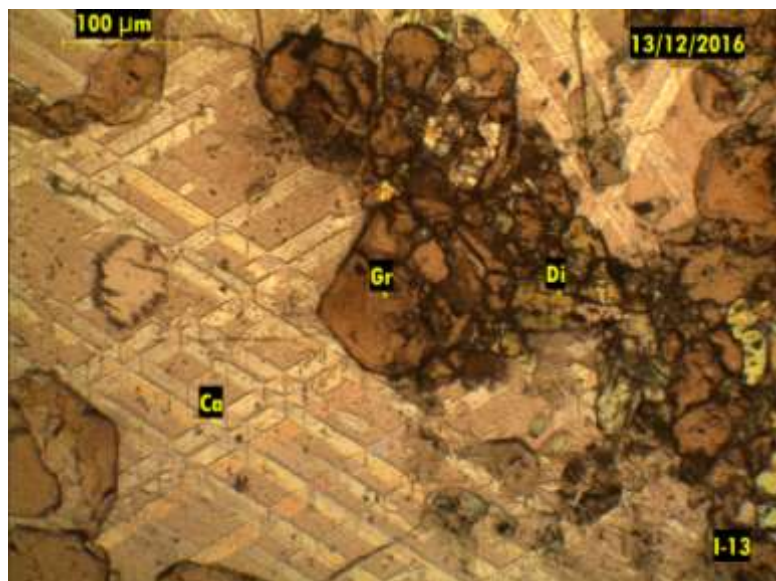


Foto N° 46-B: Calcita (Ca) incluyendo granate y diopsida (Di) (NP). Dentro de la monzodiorita de hornblenda (Hn).

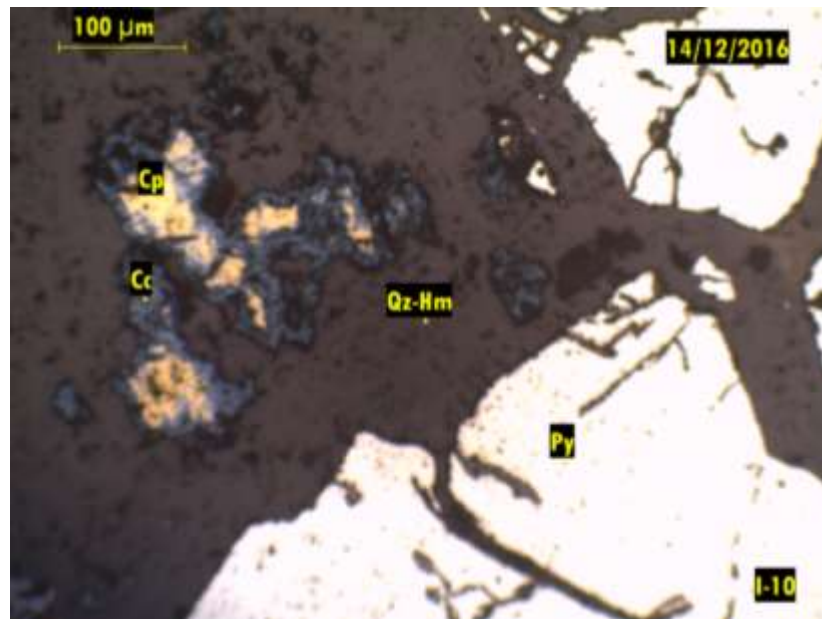


Foto N° 47-A: Calcopirita (Cp) sustituida principalmente en los bordes por calcosina (Cc) (NP).

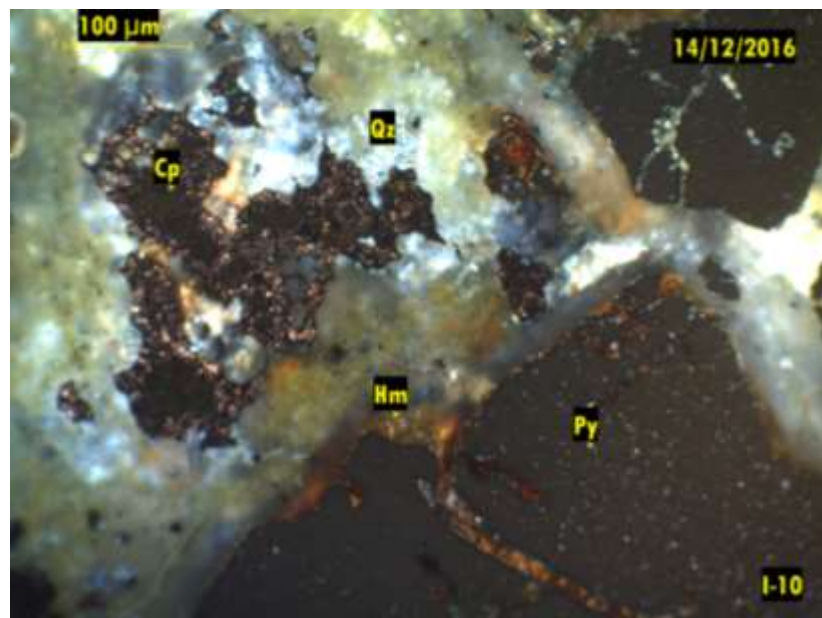


Foto N° 47-B: Hematita (Hm) reemplazando parcialmente a la pirita (Py) (NC).

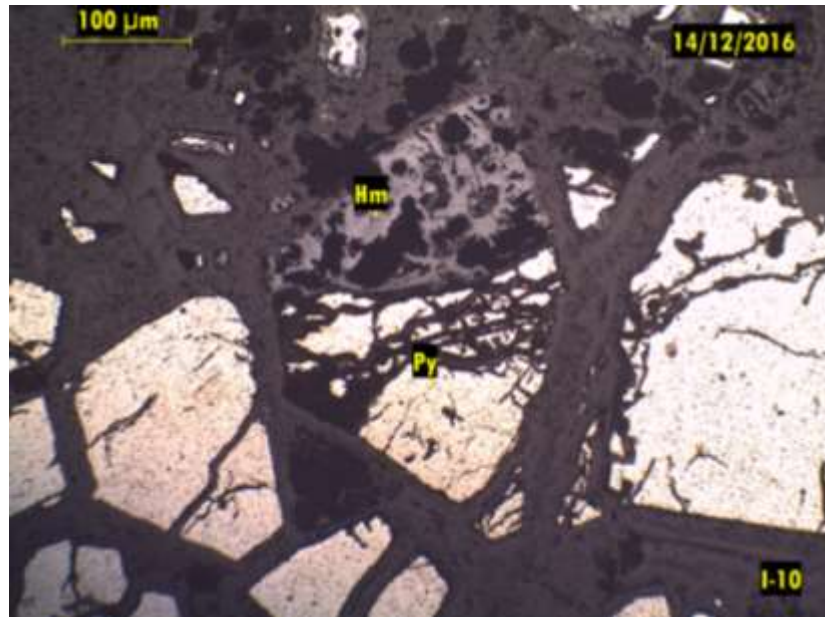


Foto N° 47-C: Hematita (Hm) reemplazando a la pirita (Py) (NP).

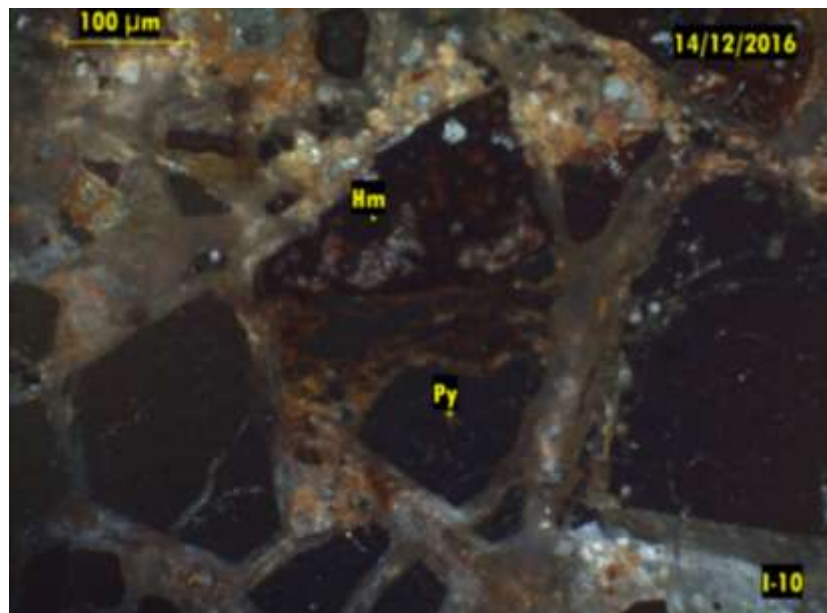


Foto N° 47-D: Hematita (Hm) – limonita reemplazando a la pirita (Py) (NC).

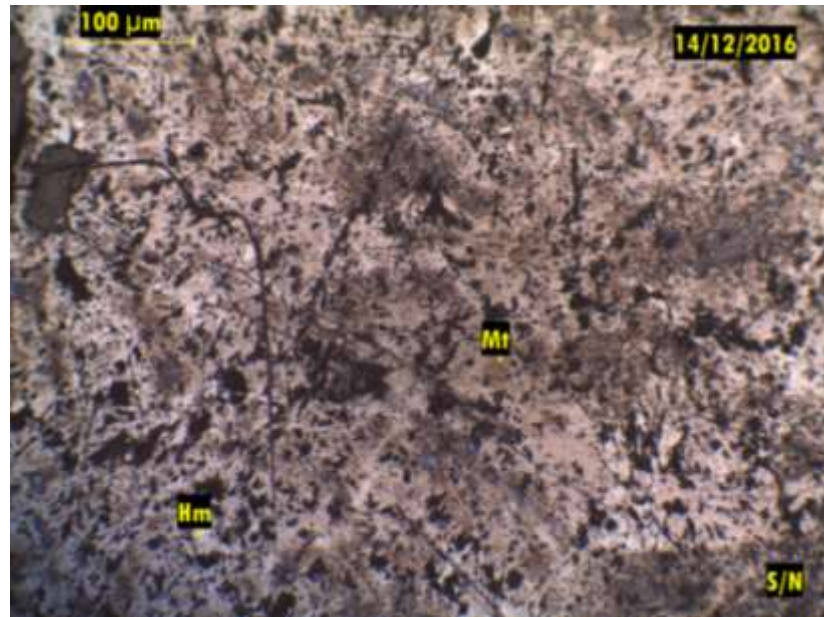
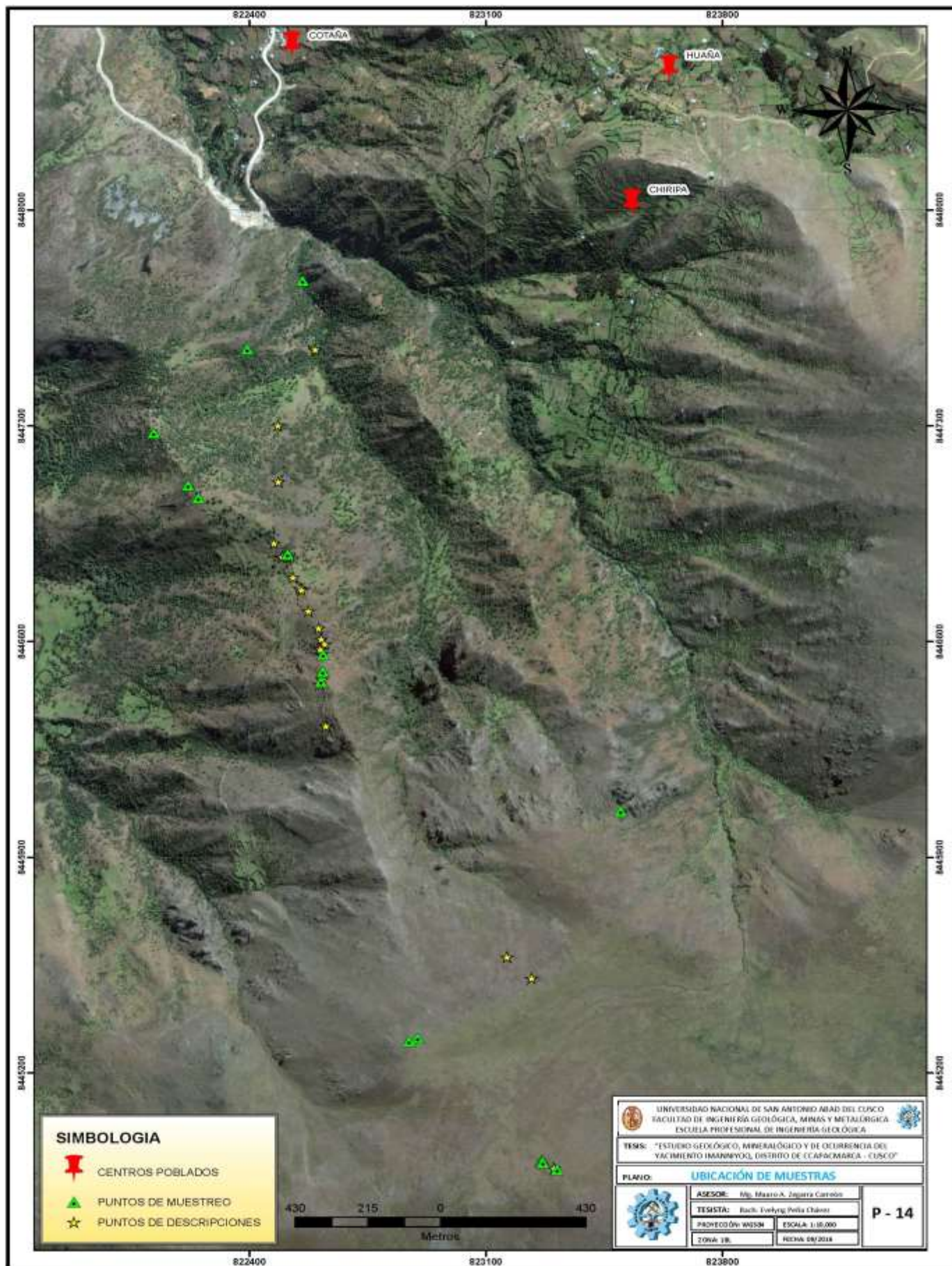
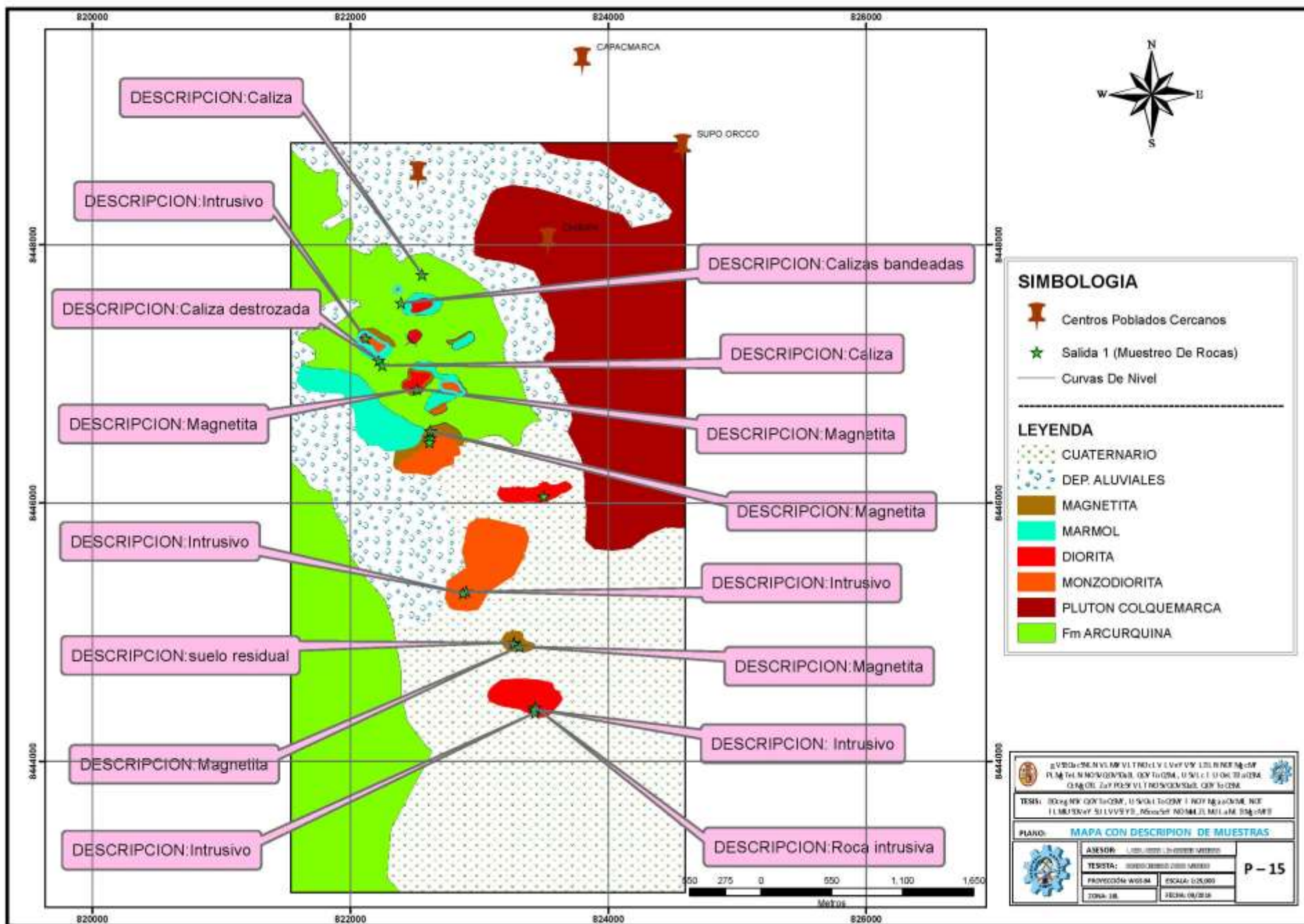
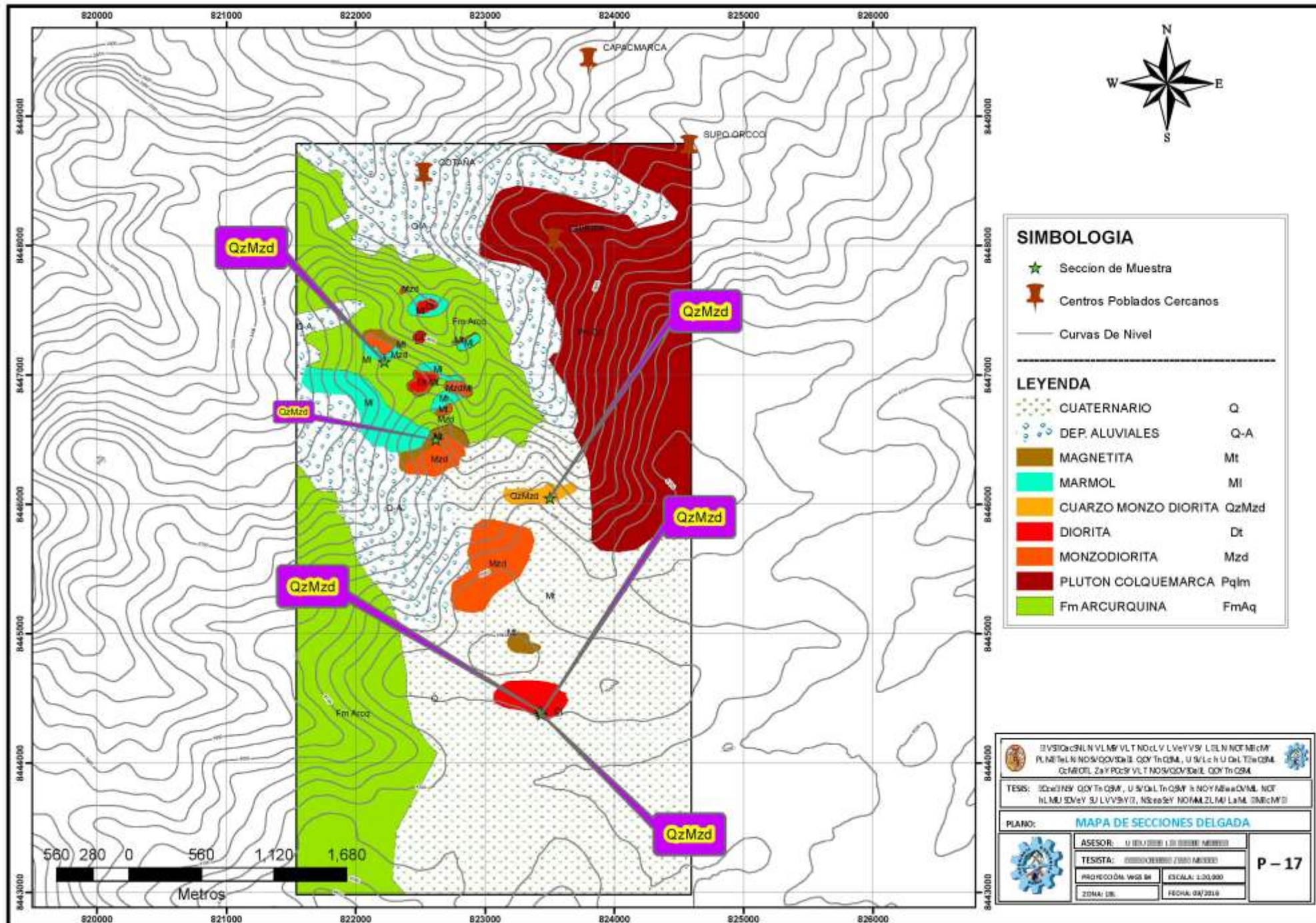


Foto N° 48: Magnetita (Mt) gris parduzca y hematita (Hm) blanca en un proceso de martitización (NP).









CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN

7.1. INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DEL MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO

Se analizó e interpreto un modelo preliminar del yacimiento en base a la información obtenida en campo y pruebas de laboratorio; llegando a tener evidencias de un yacimiento tipo skarn de magnetita, con mineralización de hierro de forma masiva visualizándose en afloramientos en la superficie. Probablemente hacia la profundidad presente un comportamiento a manera de pórfido relacionado con el batolito Andahuaylas – Yauri, el cual generalmente puede ser de composición diorítica.

Inicialmente había la existencia de rocas carbonatadas de la formación Arcurquina, de edad cretácica inferior; se postula que el yacimiento presentó 3 tipos de eventos (primera pulsación generado por la diorita, seguido por la monzodiorita y finalmente por la cuarzomonzodiorita).

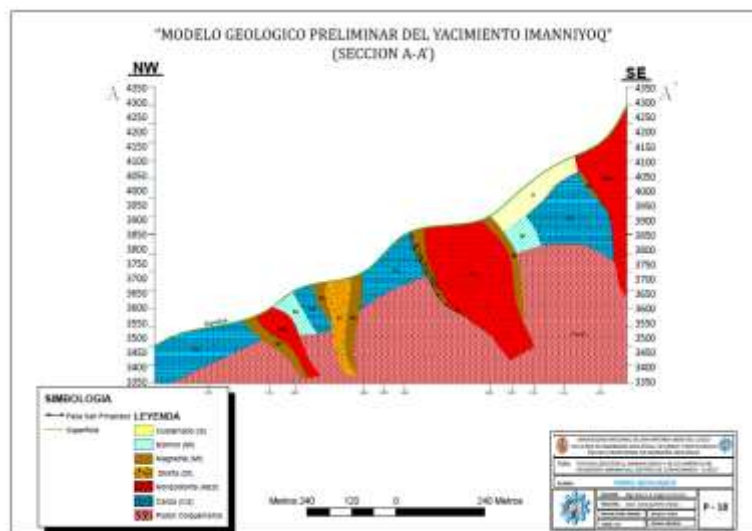
En el primer evento fueron intruidas por el Plutón diorítico que aprovechando estructuras y fallas orogénicas que reacciono y fracturo a la roca caliza generando un metasomatismo de contacto, proceso denominado skarnificación y marmolización con poco aporte de óxidos de hierro.

Posteriormente se asume se tuvo el segundo evento generado por el pulso magmático de la monzodiorita, que aprovecho las fallas san Francisco (NE – SW) y sotomachay (NW – SE), dando paso a la segunda etapa de skarnificación aprovechando las zonas de debilidad, producto de este evento se asume que se genera el evento de exsolución de la monzodiorita (se evidencia alteración), producto del cual se genera la magnetita presentándose como cuerpos masivos y rellenando zonas de fractura.

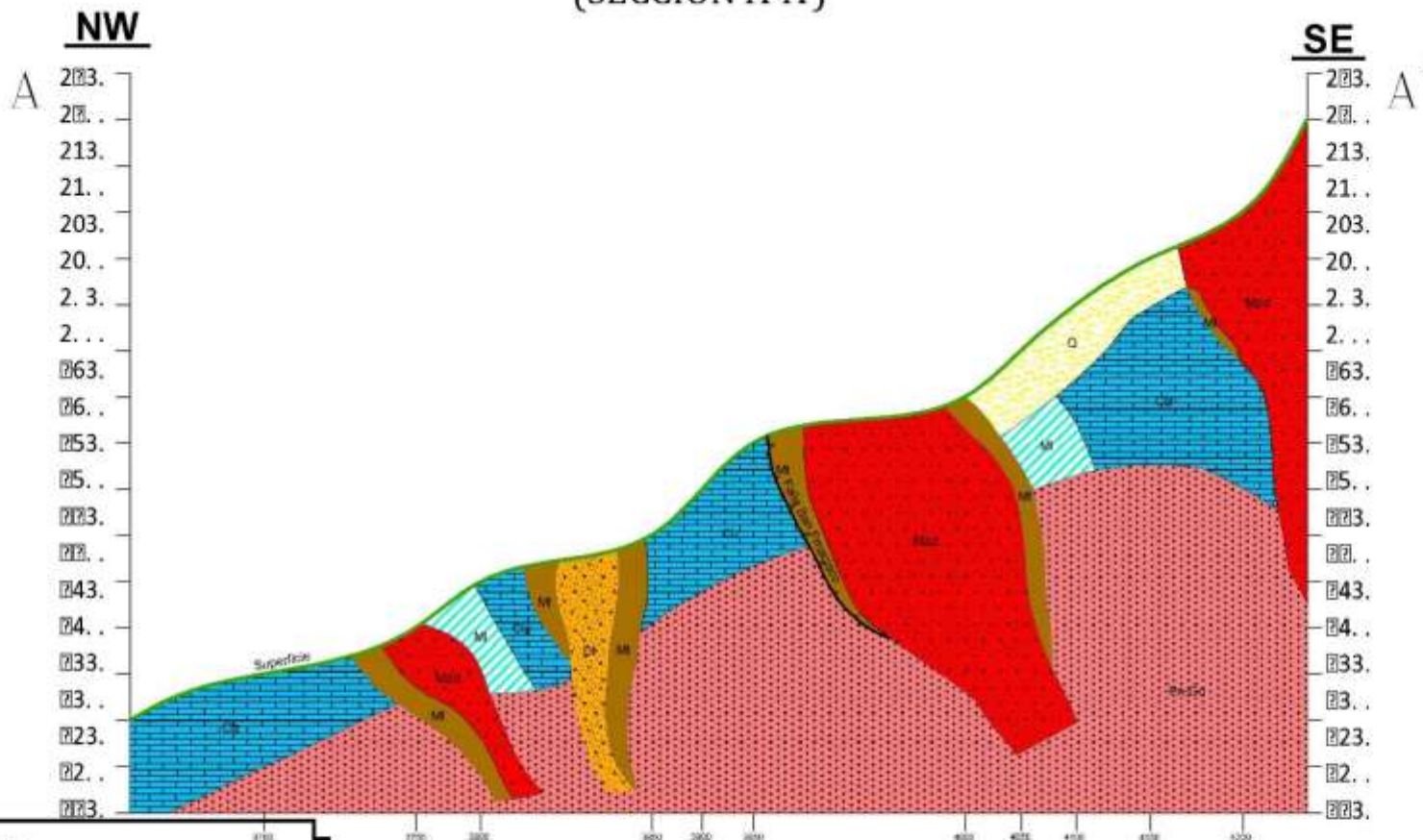
El yacimiento Imanniyoq superficialmente evidencia afloramientos puntuales de cuerpos de magnetita e intrusivos, gran parte de ellos están cubiertos por material cuaternario no permitiendo así mostrarse los afloramientos de Skarn, posiblemente coadyuvado por la susceptibilidad al intemperismo; simultáneamente también se puede evidenciar calizas colgadas con poca profundidad en los afloramientos.

En el contacto entre las calizas Arcurquina y los intrusivos dioríticos y monzodioríticos, se desarrollan skarns de magnetita. Según se observó diversos contactos metasomáticos. Los skarns de magnetita están constituidos por magnetita masiva y hematita (martitización). El contacto con las calizas puede ser abrupto o marcado por una zona de brecha calcárea. Los Skarn silicocalcicos están constituidos por granates marrón – rosáceo a verde de la serie andradita-grosularia y piróxenos. La epidota y la actinolita aparecen de manera secundaria en estos skarns. Las calizas Arcurquina que generalmente tiene un color gris oscuro a negro muestran zonas blancas según la estratificación. En estas zonas los cherts (roca sedimentaria rica en sílice) están transformados en Wollastonita.

Los intrusivos al contacto de los Skarn, muestran vetillas de granate marrón oscuro asociado a piróxeno hedembergítico por alteración, estas vetillas dan epidota y anfíboles.



"MODELO GEOLOGICO PRELIMINAR DEL YACIMIENTO IMANNIYOQ" (SECCION A-A')



SIMBOLOGIA

- Falla San Francisco
- Superficie

LEYENDA

- Cuaternario (Q)
- Marmol (Ml)
- Magnetita (Mt)
- Diorita (Dt)
- Monzodiorita (Mzd)
- Caliza (Clz)
- Pluton Colquamarca

Metros 240 120 0 240 Metros



 INSTITUTO NACIONAL DE GEOMINERÍA INSTITUTO NACIONAL DE GEOMINERÍA INSTITUTO NACIONAL DE GEOMINERÍA		
TESIS: PLANIFICACIÓN DEL YACIMIENTO IMANNIYOQ CUBIENDO LOS REQUISITOS DEL PLAN DE DESARROLLO NACIONAL		
PLANO: PERFIL GEOLOGICO		
	ASESOR: DR. JUAN CARLOS GARCIA TESISISTA: GEOMINERÍA PROYECCIÓN: WGS84 ZONA: 18E	ESCALA: 1:5000 FECHA: 09/2018
		P - 18

CONCLUSIONES

1. La importancia de este estudio radica en la identificación de mineralización con potencial minero, representado por la magnetita y minerales asociados como Au, Cu, Ag, etc.
2. Las características Geológicas y mineralógicas en el Yacimiento Imanniyoc, condicionan la ocurrencia de un yacimiento tipo skarn de magnetita con mineralización de Fe en forma masiva con leyes promedio de 42% generando un yacimiento de interés económico.
3. La mineralización de la zona de estudio está relacionada con los eventos producidos por los intrusivos dioríticos y monzodioríticos del batolito Andahuaylas – Yauri, emplazados en condiciones transpresionales y controlados por los sistemas de fallas regionales Cusco - Lagunillas – Mañazo (SFCLM), Condoroma – Caylloma (SFCC) e influenciado por el dominio geotectónico Abancay – Condoroma (DGCC), los cuales presentan un rumbo andino NW – SE.
4. Localmente se ha identificado e interpretado 2 sistemas principales de fallas de dirección NW –SE (falla sotomachay) y NE – SW (falla san francisco), los cuales probablemente permitieron el emplazamiento del intrusivo diorítico y monzodiorítico a través de las fallas; la falla Sotomachay posiblemente se comportó como falla normal durante la sedimentación Mesozoica y tuvo un comportamiento inverso entre el Eoceno y Oligoceno (orogenia incaica), mientras que la falla San Francisco posiblemente se formó en el Paleoceno y controló el emplazamiento de los intrusivos durante el Eoceno y Oligoceno.
5. Presenta un control estructural mediante los sistemas de diaclasamiento, son el resultado de esfuerzos regionales y deformaciones.
6. Los intrusivos relacionados al Batolito Andahuaylas - Yauri, por las implicancias tectónicas y por su ubicación son los cuerpos dioríticos, monzodioríticos y cuarzo monzodioríticos.

7. El control litológico está dado por la interacción entre un intrusivo diorítico y monzodiorítico con una roca carbonatada generado por el metasomatismo de contacto genera ocurrencia de un skarn de magnetita.

RECOMENDACIONES

1. Resalta la importancia del yacimiento con fines de despertar interés para continuar con la exploración geofísica y de perforación diamantina a futuro.
2. Realizar estudios de campo y futuras prospecciones más detalladas evaluando otras ocurrencias de magnetita que se encuentran asociadas a la zona del Batolito Andahuaylas – Yauri.
3. Realizar estudios geoquímicos, geofísicos y perforaciones diamantinas los cuales permitirán conocer de manera más amplia y exacta la ocurrencia del yacimiento, a su vez permitirá realizar el cálculo de reservas de minerales.
4. Mejorar e implementar un sistema de trabajo con las comunidades para sensibilizar a la población acerca de los trabajos y beneficios que se recibirá en una posible operación minera en la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Amstutz, G.C. (1971). Glossary of Mining Geology.
- Ballón, A (1963). Iron Deposits of Livitaca – Uranio and Lugones Claims.
- Bateman, A. M. (1951) “the formation of mineral deposits”. Hohn Wiley & sons, New. York.
- Bellido, E (1974). Depósitos de hierro en el Perú.
- Bonhome y Carlier (1990). Evaluation of Deposists Potential in the Andahuaylas.
- Borkowski, D. (1978). Los depósitos de oxidos de Hierro en los departamentos de Cusco y apurimac.
- Caldas, V. (1993). Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa 32r y 31r.
- Carlier, G.; Carlotto, V.; Ligarda, R. y Manrique, E. (1989). Estudio metalogenético de la sub-Provincia cuprífera tintaya – Bambas convenio de corporación científica UNI – ORSTOM.
- CARLOTTO, V., CERPA, L., CARLIER, G., QUISPE, J., CARDENAS, J., ASTETE, D., (2006). Control Estructural de los Pórfidos Eoceno-Oligoceno del Cinturón Andahuaylas-Yauri (Sur Perú) y su relación con la Cordillera de Domeyko (Norte de Chile), XII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos, 2006, pp. 626-629.
- Carlotto, V., Cerpa, L., Rodríguez (2007) “Evolución Tectónica y metalogenética de la litosfera del sur del Perú”.
- Carlotto, V. y otros. (2009). Dominios Geotectónicos Y Metalogénesis Del Perú.
- Dalmayrac, B. (1998). Estudio geológico de los Andes del Perú central.
- Dana, J.D. y Hulburt, C. S. (1960). Manual de Mineralogía 17va edición norteamericana, Barcelona.
- Davila, J. (1991). Diccionario Geológico 3ra edición Ingemmet, Lima, 1006 pp.
- Enaudí, M.T., Newberry, R.J. (1981). Skarn Deposits: economic Geology 75 th Anniversary Volume: 317-391.
- Enaudí, M.T., Newberry, R.J. (1982). Descriptions of skarn associated with porphyry copper plutons, southwestern North America.

- Estrada, I. L (2008). Apuntes de geomagnetismo y prospección magnética. Tucumán: Editorial de la Universidad Nacional de Tucumán.
- Fernández, A. – Champi, R. (2015). Tesis de Geólogo, “Geología y Ocurrencia del yacimiento de magnetita del proyecto minero Huinquiri – Santo Tomás – Cusco”.
- Foster, R. J. (1996). Geology. V 43, p 667 - 670
- Fournier, R. (2000). Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic to brittle rocks in the magmatic-hydrothermal environment: Econ. Geol., v. 94, p. 1193-1212.
- Galdos, J.; Segundo, H. 2002, Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrangulo de Tambobamba.
- Gocht, W.R. Zantop, H. & Eggert, R.G. (1988) “International mineral economics”. Springer –Verlag, Berlin.
- Guervasi, M. y Lauro, E (2011); Tesis de Geólogo, “Skarn de Utupara – Antabamba- Apurímac”
- Meinert, L. D. (1982). Skarnn, Manto and Breccia pipe Formation in Sedimentary Rocks of the Cananea District, Sonora, Mexico, Economic Geology, 77: 919 – 949.
- Meinert, L. D. (1984). Mineralogy and petrology of iron skarn in Western British Columbia, Canada. Economic Geology, 79: 869 – 882.
- Meinert, L. D. (1987). Skarn y zonation and fluid evolution in the Groundhog Mine, Central Mining Distritic, New Mexico, Economic Geology, 82: 523 – 545).
- Mendivil, S. y Dávila, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Santo Tomas (29r) y Livitaca 29s (boletín A 52). INGEMMET - Lima.
- Myers, G. (2001). Skarn System and Exploration Concepts, Seminario Alteraciones Hidrotermales – guías de exploración, Julio 2001, UNI.
- Peccerillo, A. & Taylor, T.S. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rock from Kastamonu área, Nerthen Turkey. Contrb. Mineral Petrología, 58, 63 – 81.

- Pecho, V. (1981). Geología de los cuadrángulos Challhuanca (29-p), Antabamba (29-q) y Santo Tomas (29-r)
- Perrelló, J., Carlotto, V., Zarate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., Muhr, R., (2003). Porphyry-style Alteration and mineralization of the Middle Eocene-Early – Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. *Economic Geology*, V98, 2003, pp. 1575-1605.
- Pulgar, J. (1938). Geografía humana general.
- Quispe, J.; Carlotto, V.; Acosta, J.; Macharé, J; Chirif, H., et al (2008) – Mapa Metalogenetico de Perú 2008, Congreso Peruano de Geología, 14; Congreso Latinoamericano de geología 13, Lima.
- Ramos, V. A. (1999). «Plata tectonic setting of the Andean Cordillera». *Episodes* (en inglés) 22 (3): 183-190.
- Rendon, S. (2009). Revista Cultural Markarani – Municipalidad Distrital de Ccapacmarca
- Ricalde, W. y Huayllani, M. (2015). Seminario de Geología, “Reconocimiento Geológico y mineralógico de los intrusivos de Zurite – Anta – Cusco”.
- Rose, A. W. & Burt, D. M. (1979). Hydrothermal alteration, in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*: “New York, John Wiley and Sons, p. 173 – 235.
- Salas, E. (2014). Tesis de Geólogo, “Geología y Prospección de labores españolas en el cerro Chima-Progreso – Grau – Apurímac”.
- Sangster, D. F., y Scott, S. D. (1976). Precambrian, Strata-bound. Massive Cu-Zn-Pb sulfide ores of North America. *Woolf*, vol. 6, cap. 5, pp. 129-222.
- Santa Cruz, S. (1979). Geología de los Yacimientos de Cobre en skarn en la Región Sur – Oriental del Perú – Bolivia.
- Smirnov, V.I. (1976) “geología de yacimiento minerals”, editorial Mir. Moscú.
- Steinmann, G. (1929). Geología del Perú.
- Tunque, C. (2015). Tesis de Geólogo, “Prospección y exploración geológica de depósitos de hierro del proyecto cerro Copane – Accha – Omacha

- Utada, M. (1980). Hydrothermal alterations related to igneous activity in Cretaceous and Neogene formations of Japan: Mining Geology Special Issue 8, p. 67 – 83.
- Velasco, F. (1963). Informe sobre los recursos minerales del departamento del Cusco.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- Batolito Andahuaylas Yauri:
<https://es.scribd.com/document/98915516/Batolito-de-Andahuaylas-Yauri>
(consultado: 20 de diciembre, 2016)
- Caracterización de las unidades Geológicas y del Inventario de Recursos Metálicos, No Metálicos, y peligros Geodinámicas:
http://ider.regioncusco.gob.pe/GEOLOGIA/PROV_CHUMBIVILCAS/DIAGNOSTICO%20PROVINCIAL/EXP_TECNICO_CHUMBIVILCAS.pdf (Consultado: 5 de Septiembre, 2016)
- Geomorfológico APCR tres cañones
<http://siar.regioncusco.gob.pe/acr/geomorfolologico.html> (Consultado: 05 de Agosto, 2016)
- Depósitos tipo skarn:
<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/DEPOSITOS%20DEL%20TIPO%20SKARN.pdf> (Consultado: 19 de Diciembre, 2016)
- Depósitos tipo skarn:
www.unalmed.edu.co/~rrodriguez/skarn/skarn.htm (Consultado: 05 de Octubre, 2016)
- Depósitos tipo skarn:
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/depositos-skarn/depositos-skarn.pdf>
(Consultado: 19 de Diciembre, 2016)
- Metalógenia del Perú:

<http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2007/cyamientos/cap03.pdf>

(consultado: 19 de Noviembre, 2016)

- Mineralizaciones de magnetita asociadas a skarns y bandas de cizalla:
<file:///C:/Users/User/Desktop/Geo40-59.pdf> (consultado: 9 de Julio, 2016)

ANEXOS

GLOSARIO DE TERMINOS

ABREVIATURAS

CV: Coeficiente de variación.

CVAVG: Coeficiente de variación (promedio).

DEM: Modelo digital de elevación.

GATEWAY: Gateway Solution S.A.C.

Ha: Hectáreas.

ICP: Plasma de acoplamiento inductivo.

INGEMMET: Estudio Geológico Minero y Metalúrgico.

IP: inducción polarizada.

MAG: Magnetometría.

QA/QC: Control de análisis / Control de calidad.

UTM: universal TransverseMercator.

IOCG: Óxidos de hierro, cobre y oro.

VDG del Perú S.A.C: Empresa dedicado a estudios geofísicos

Msnm: metros sobre el nivel del mar.

N: Norte

S: Sur

E: Este

W: Oeste

NE: Noreste

SE: Sureste

NW: Noroeste

SW: Suroeste

IGRF: Campo geomagnético de referencia internacional.

SEGEMAR: Servicio Geológico Minero de Argentina.

Dio: Diorita.

PAnd: Pórfido Andesítico.

SKE: endoskarn.

SKX: Exoskarn.

SK: skarn

UNIDADES:

cm: Centímetros.	°C: Grados Celsius.
g: Gramos.	ppb: partes por billón.
g/t: Gramos por tonelada.	ppm: partes por millón.
Kg: Kilogramo.	nT: Nano teslas.
Km: Kilómetro.	mGa/ : Miligals.
m: Metros.	Seg: Segundos.
Ma: Millones de años.	mV/V: Mili voltios por voltio.

SIMBOLOGÍA:

~	: Aproximadamente /Alrededor
≈	: Equivalente
“+”	: Baja concentración de mineral < 0.5%
“++”	: Moderada concentración de mineral 1 – 10%
“+++”	: Alta concentración de mineral > 10%

MINERALES:

Cpy: Calcopirita.	Act: Actinolita.
Py: Pirita.	Dp: Diópsida.
Gn: Galena.	GRP: Garante rosado.
Hm: Hematita.	GR: Granate.
Lm: Limonita.	Sp: Especularita.
Go: Goethita.	Ep: Epidota.

Cal: Calcita.

Trm: tremolita.

Mag: Magnetita.

QZ: cuarzo

ELEMENTOS:

Ag: Plata.

Mo: Molibdeno.

Al: Aluminio.

Na: Sodio.

As: Arsénico.

Ni: Níquel.

Au: Oro

P: Fosforo.

Ba: Bario.

Pb: Plomo.

Ca: Calcio.

S: Azufre.

Cd: Cadmio.

Sb: Antimonio.

Co: Cobalto.

Se: Selenio.

Cr: Cromo.

Sn: Estaño.

Cu: Cobre.

Sr: Estroncio.

Fe: Hierro.

Te: Teluro.

Hg: Mercurio.

Ti: Titanio.

K: Potasio.

Tl: Talio.

La: Lantano.

V: Vanadio.

Mg: Magnesio.

W: Wolframio.

Mn: Manganese.

Zn: Zinc